

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 208 Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

агроінжинірингу

Шуляк М.Л.

“08” вересня 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА ДИПЛОМНУ (МАГІСТЕРСЬКУ) РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Коновалу Євгенію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження доцільності використання електронної системи керування сівалкою точного висіву просапних культур типу HORSCH MAESTRO

керівник роботи: Хворост Тетяна В'ячеславівна, к.е.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “01” березня 2024 року № 657/ос

2. Строк подання здобувачем роботи: «01» листопада 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Нормативно-технічна документація по розробці механізованих технологічних процесів у рослинництві. 2. Науково-технічна література. 3. Літературні джерела інформації та Інтернет ресурси. 4. Монографії, тощо за темою наукового дослідження. 5. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичний аналіз процесів автоматизованого електронного управління висіву. 3. Методика та результати проведення експериментальних досліджень. 4. Охорона праці. 5. Економічна доцільність. Загальні висновки. Список літературних джерел.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<b>Охорона праці</b>	<b>Хворост Т.В.</b>		
<b>Економічна доцільність</b>	<b>Мікуліна М.О.</b>		

7. Дата видачі завдання «08» вересня 2023 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної (магістерської) роботи	Строк виконання етапів дипломної (магістерської) роботи	Погоджено з керівником дипломної (магістерської) роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	до 15.08.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 20.08.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
5.	Підготовка розділу «Аналітична частина»	до 28.08.2024 р.	
6.	Підготовка розділу «Основна частина»	до 16.09.2024 р.	
7.	Підготовка розділу «Охорона праці»	до 14.10.2024 р.	
8.	Підготовка розділу «Економічна доцільність»	до 21.10.2024 р.	
9.	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
12.	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Коновал С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник дипломної (магістерської) роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Хворост Т.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Тема роботи** – «Дослідження доцільності використання електронної системи керування сівалкою точного висіву просапних культур типу HORSCH MAESTRO».

**Мета роботи:** підвищення технологічних та експлуатаційних параметрів сівалки Horsch Maestro шляхом дослідження електронної системи управління.

**Завдання дипломної роботи магістра:**

- провести аналіз технологій та способів посіву різноманітних культур та агротехнічних вимог до проведення даних операцій;
- провести аналіз конструкцій та принципів роботи сівалок та посівних комплексів, оснащених електронними системами управління.
- обґрунтувати норму внесення насіння на одиницю площі посіву;
- розробити методика та модель випробування технологічних та експлуатаційних параметрів сівалки Horsch Maestro залежно від зміни технічних показників електронної системи управління;
- провести техніко-економічну оцінку методики діагностики сівалки Horsch Maestro.

**Об'єкт, методи та джерела дослідження**

*Об'єкт дослідження.* сівалка Horsch Maestro, технологічні та експлуатаційні параметри сівалки, діагностичні параметри електронної системи управління.

*Предмет дослідження.* закономірності зміни технологічних та експлуатаційних параметрів сівалки Horsch Maestro від параметрів електронної системи управління.

*Методи дослідження.* емпіричний, збір інформації та аналіз даних, аналітичні методи, проведення досліджень та вимірювання.

**Наукова новизна отриманих результатів:** обґрунтовано модель зміни параметрів електронної системи управління та їх вплив на технологічні та експлуатаційні параметри сівалки Horsch Maestro.

Пояснювальна записка магістерської роботи на 77 сторінках машинописного тексту, 16 рис., 3 табл., 28 літературних джерел

**Ключові слова:** сівалка Horsch Maestro, електронна система управління, карта врожайності, карта диференційованого висіву, система контролю висіву

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Стан питання і завдання досліджень.....	8
1.1 Основні види сільськогосподарських культур та технологій їх вирощування.....	8
1.2 Огляд сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур.....	11
1.3 Основні способи посіву та вимоги до технологічного процесу.....	14
1.4 Конструктивні та функціональні особливості машин для посіву насіння.....	18
1.5 Конструктивні та функціональні особливості машин для посіву насіння.....	23
2 Теоретичний аналіз процесів автоматизованого електронного управління висіву.....	29
2.1 Аналіз вихідних даних .....	29
2.2 Дослідження точності висіву за даними сенсора інтенсивності потоку насіння.....	33
3 Методики та результати проведення експериментальних досліджень .	39
3.1 Вихідні дані та умови проведення досліджень.....	39
3.2 Методика та обладнання для дослідження електронної системи управління сівалкою.....	48
3.3 Результати дослідження керуючих сигналів електронної системи управління сівалкою.....	51
3.4 Результати дослідження похибки дозування за несправності компонентів електронної системи управління сівалкою.....	57

4 Охорона праці.....	63
4.1 Вимоги до безпеки при експлуатації сівалок точного висіву...	63
4.2 Особливості безпеки при обслуговуванні електронних систем	63
4.4 Організаційні заходи для забезпечення безпеки праці.....	64
5 Економічна доцільність.....	65
5.1 Розрахунок економічного ефекту від використання пропонованої методики діагностики.....	66
Загальні висновки.....	72
Список використаних джерел.....	74
Додатки	

## ВСТУП

Розвиток сучасного сільського господарства тісно пов'язаний із впровадженням високотехнологічних рішень, що сприяють підвищенню продуктивності та ефективності виробничих процесів. Однією з ключових тенденцій в аграрній сфері є використання систем точного землеробства, які дозволяють оптимізувати витрати ресурсів, зменшувати вплив людського фактору та підвищувати врожайність культур. Особливу увагу в даному контексті займають електронні системи керування сільськогосподарською технікою, зокрема сівалками точного висіву просапних культур.

Актуальність теми дослідження зумовлена важливими факторами, що мають значний вплив на сучасне сільськогосподарське виробництво. Зростання світового попиту на продукти харчування потребує постійного підвищення врожайності при одночасному зменшенні витрат ресурсів, таких як насіння, добрива, паливо та робоча сила. Точне землеробство стає важливим інструментом у досягненні цих цілей, оскільки воно забезпечує ефективніше використання ресурсів та покращує економічну ефективність виробничих процесів.

Інноваційні технології, зокрема електронні системи керування сільськогосподарською технікою, дозволяють значно підвищити точність агротехнічних операцій. У випадку сівалок точного висіву, таких як HORSCH MAESTRO, впровадження електронних систем дозволяє оптимізувати висів, знижуючи втрати та нерівномірність розподілу насіння. Це, своєю чергою, сприяє рівномірному розвитку рослин, що особливо важливо для просапних культур, оскільки їхня врожайність багато в чому залежить від правильного розташування насіння в ґрунті.

Таким чином, дослідження доцільності використання електронної системи керування сівалкою точного висіву типу HORSCH MAESTRO відповідає сучасним потребам аграрної галузі та спрямоване на вирішення нагальних проблем сільськогосподарського виробництва, пов'язаних із підвищенням ефективності використання ресурсів і технологій.

# 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Основні види сільськогосподарських культур та технології їх вирощування

### Основні групи сільськогосподарських культур

Сільське господарство включає різноманітні види культур, які поділяються на кілька основних груп. Кожна група має свої специфічні особливості вирощування і потреби:

#### 1. *Зернові культури:*

- Пшениця: Основна культура, яка є важливим джерелом харчування для людей. Вирощується на великих площах, вимоглива до умов вирощування.

- Кукурудза: Використовується як для харчування людей, так і для кормів. Вимагає достатньої кількості тепла та води.

- Ячмінь: Застосовується в харчовій промисловості та як корм для тварин. Теплолюбна культура, але має високу стійкість до холодів.

#### 2. *Олійні культури:*

- Соняшник: Важливе джерело рослинної олії. Вимагає багато сонячного світла і тепла.

- Соя: Застосовується для виробництва олії та білкових кормів. Має високу потребу у вологих умовах.

#### 3. *Технічні культури:*

- Буряк: Вирощується для виробництва цукру. Потребує родючих ґрунтів і достатнього рівня вологи.

- Тютюн: Важлива культура для виробництва тютюнових виробів. Вимагає теплого клімату та спеціальних умов вирощування.

#### 4. *Кормові культури:*

- Силосна кукурудза: Призначена для виробництва силосу. Вимагає тепла і високої вологості.

## 5. Овочеві та плодові культури:

○ Помідори: Використовуються в свіжому вигляді та для переробки. Вимагають теплого клімату і регулярного поливу.

○ Яблука: Важлива плодових культур, що вирощується в різних кліматичних зонах. Потребує спеціальних умов для зберігання.

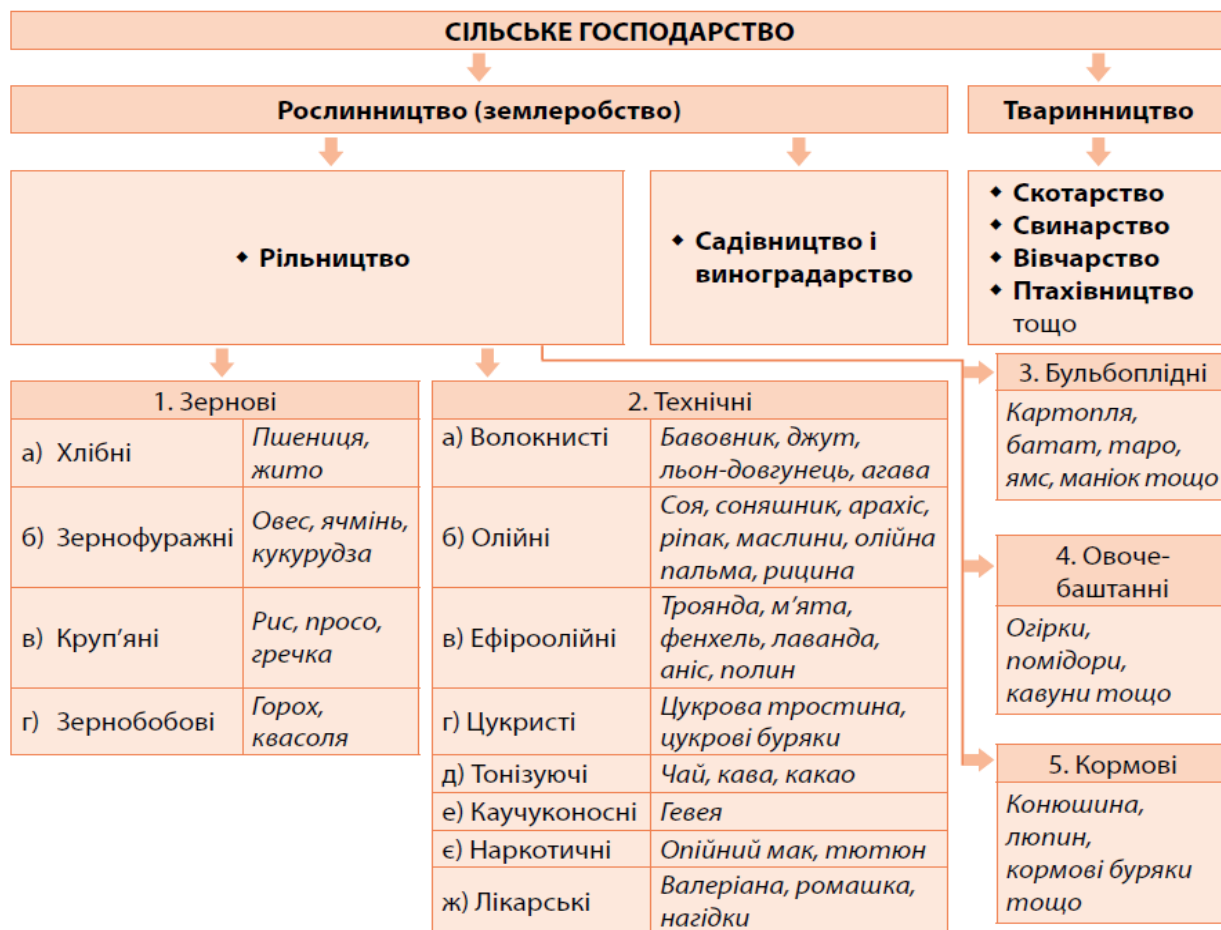


Рисунок 1.1 - Основні напрями сільськогосподарського виробництва

### Технології вирощування сільськогосподарських культур

Розглянемо технології по вирощуванню с.г. культур:

- Технологія прямого посіву: Зменшує обробку ґрунту, знижує втрату вологи і поліпшує структуру ґрунту. Вона є ефективною для зменшення ерозії і збереження органічної речовини.

- Системи точного землеробства: Включають використання GPS, GIS та сенсорних технологій для точного управління ресурсами (вода, добрива) і оптимізації процесів посіву та догляду за культурами.

- Інтенсивні технології: Орієнтовані на максимізацію врожайності шляхом використання сучасних агрохімічних засобів, оптимізації агрономічних практик і поліпшення генетики культур.

- Органічне землеробство: Охоплює використання природних добрив, біологічних методів контролю шкідників і відмову від синтетичних хімікатів. Метою є забезпечення стійкого розвитку та збереження екологічної рівноваги.

Актуальні проблеми та виклики у вирощуванні сільськогосподарських культур

#### 1. Зміни клімату:

- Аномальні погодні умови: Зміни клімату призводять до частіших і інтенсивніших погодних аномалій, таких як посухи, затоплення і екстремальні температури, що впливають на врожайність культур.

- Зміщення зон вирощування: Зміни кліматичних умов можуть вимагати перенесення зон вирощування культур на нові території, що потребує адаптації технологій і практик.

#### 2. Проблеми з ресурсами:

- Недостатність води: Водні ресурси є критично важливими для зрошення, і їх недостатність може суттєво вплинути на врожайність і якість продукції.

- Зниження родючості ґрунтів: Інтенсивне використання ґрунту без відновлення його родючості призводить до деградації і зниження продуктивності.

#### 3. Проблема екології:

- застосування хімічних добрив і пестицидів може забруднювати ґрунти, воду і повітря, що має негативний вплив на екосистеми і здоров'я людей.

- Втрата біорізноманіття: Інтенсивні методи землеробства можуть призводити до зменшення біорізноманіття

#### 4. Економічні виклики:

- Високі витрати на технології: Інвестиції в сучасні агротехнології можуть бути високими.

#### 5. Технічні та технологічні виклики:

- Незадовільне впровадження нових технологій: Недостатня обізнаність або технічні труднощі в інтеграції нових технологій можуть знижувати їх ефективність.

- Неefективне управління даними: Вирощування культур за допомогою сучасних технологій вимагає точного збору.

### **1.2 Огляд сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур**

У сучасному аграрному секторі застосовуються різноманітні технології, які допомагають підвищити продуктивність, ефективність і стійкість сільськогосподарських систем.

Точне землеробство (Precision Agriculture) є підходом, для оптимізації управління сільськогосподарськими культурами. Основна мета цієї технології – забезпечення точного і ефективного використання ресурсів, таких як вода, добрива та пестициди.

- GPS забезпечують точне визначення розташування та умов на полі. Це дозволяє точніше планувати і виконувати сільськогосподарські роботи.

- Сенсори та дрони: Сенсори на борту тракторів і дронів-це дані про ґрунт, рівень вологості, наявність поживних речовин і розвиток культур. Ці дані використовуються для прийняття обґрунтованих рішень про внесення добрив, полив та інші агрономічні практики.

- Аналіз даних: Зібрані дані аналізуються для створення карт полів, що показують варіації в урожайності і потребах культур. Це дозволяє адаптувати стратегії управління до специфічних умов на кожному ділянці поля.

- Технології VRT: Технології змінного - точне внесення добрив і пестицидів відповідно до потреб культур. Це зменшує витрати на ресурси та знижує негативний вплив на навколишнє середовище.

### 1.2.2 Консерваційне землеробство

Консерваційне землеробство спрямоване на збереження і поліпшення родючості ґрунтів, зменшення ерозії та підвищення ефективності використання води.

- Мінімальна обробка ґрунту: Зменшення механічної обробки ґрунту допомагає зберегти його структуру, зменшує ерозію і покращує збереження вологи.

- Покриття поверхні ґрунту органічними або неорганічними матеріалами (мульчою) допомагає зберегти вологу, зменшити ерозію та запобігти росту бур'янів. Мульчування також сприяє розвитку корисних мікроорганізмів в ґрунті.

- Ротація культур: Чергування різних культур на одному полі допомагає зберегти родючість ґрунту і зменшити ризик накопичення шкідників і хвороб. Ротація також допомагає знижувати потребу в хімічних добривах і пестицидах.

- Системи збереження вологи: Включають використання технологій для збору та збереження дощової води, а також ефективне використання систем зрошення для забезпечення культур необхідною кількістю води.

### *Органічне землеробство*

Органічне землеробство передбачає використання методів, що не включають синтетичних хімічних добрив і пестицидів. Метою є підтримка екологічної рівноваги і поліпшення якості продукції.

- Природні добрива: Використання компосту, гною та інших органічних матеріалів для підвищення родючості ґрунту. Це забезпечує рослини необхідними поживними речовинами.

- Біологічний контроль шкідників: Застосування природних ворогів шкідників, таких як комахи-паразити або патогенні мікроорганізми, для контролю чисельності шкідників. Це зменшує потребу в хімічних пестицидах.

- Агроекологічні практики: Включають ротацію культур, посадку покривних культур та використання мульчування для покращення здоров'я ґрунту і зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

- Заборона на ГМО: допускається використання генетично модифікованих організмів. Це допомагає зберігати природні властивості культур і захищати екологічну рівновагу.

#### *Інтегроване управління шкідниками*

Інтегроване управління шкідниками (Integrated Pest Management, IPM) є стратегічним підходом до контролю шкідників, який поєднує різні методи для досягнення ефективного і стійкого контролю.

- Моніторинг і ідентифікація: Регулярний моніторинг посівів на наявність шкідників і хвороб дозволяє вчасно виявити проблеми і правильно їх оцінити. Ідентифікація видів шкідників допомагає вибрати найбільш ефективні методи контролю.

- Біологічний контроль: Використання природних ворогів шкідників, таких як комахи-паразити або мікроорганізми, що знижують чисельність шкідників. Це зменшує потребу в хімічних пестицидах.

- Хімічний контроль: При необхідності використання пестицидів, що мають менший вплив на навколишнє середовище і не є шкідливими для корисних організмів. Вибір пестицидів проводиться на основі аналізу ризику і необхідності.

- Агрономічні практики: Включають ротацію культур, правильний вибір сортів, стійких до шкідників, та інші практики, що знижують ризик появи шкідників.

#### *Прецизійне землеробство*

Прецизійне землеробство є підмножиною точного землеробства і акцентує увагу на максимальному використанні даних і технологій для підвищення ефективності агрономічних практик.

- Картографування полів: Створення карт полів, що відображають різні характеристики, такі як рівень вологості, структура ґрунту, і концентрація поживних речовин. Це дозволяє адаптувати агрономічні практики до специфічних умов кожної ділянки.

- Автоматизація процесів: Використання автоматизованих систем для внесення добрив, поливу і обробки ґрунту. Автоматизація допомагає зменшити людський фактор і підвищити точність виконання агрономічних робіт.

- Реактивні системи управління: Включення систем, що дозволяють в реальному часі реагувати на зміни в умовах на полі, такі як зміна рівня вологості або поява шкідників. Це допомагає своєчасно коригувати управлінські рішення.

- Аналіз даних і моделювання: Використання програмного забезпечення для аналізу великих обсягів даних і створення моделей, що прогнозують результати агрономічних практик і дозволяють оптимізувати використання ресурсів.

Отже, сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур, такі як точне землеробство, консерваційне землеробство, органічне землеробство, інтегроване управління шкідниками та прецизійне землеробство, забезпечують нові можливості для підвищення продуктивності і стійкості аграрного сектора. Ці технології допомагають адаптуватися до змінюваних умов, зменшувати

### **1.3 Основні способи посіву та вимоги до технологічного процесу**

Посів сільськогосподарських культур є критично важливим етапом у вирощуванні рослин, оскільки від правильності та ефективності цього процесу залежить подальший розвиток і врожайність культур. У цьому розділі розглядаються основні способи посіву, а також вимоги до технологічного процесу посіву.

### 1.3.1 Основні способи посіву

Сівба рядками: передбачає розміщення насіння в рядках на певній відстані один від одного. Рядки можуть бути прямими або вигнутими, залежно від конкретних умов і технічного оснащення.

○ Переваги:

▪ Полегшення догляду за культурами, таких як підживлення, збирання врожаю та боротьба зі шкідниками.

▪ Забезпечення рівномірного розподілу насіння та покращення доступу до ресурсів, таких як вода та світло.

○ Використання: Зазвичай застосовується для вирощування зернових культур, бобових, олійних і овочевих культур.

Сівба гніздова: насіння висіваються в невеликих групах або гніздах, розташованих на певній відстані один від одного. Кожне гніздо містить кілька насінин.

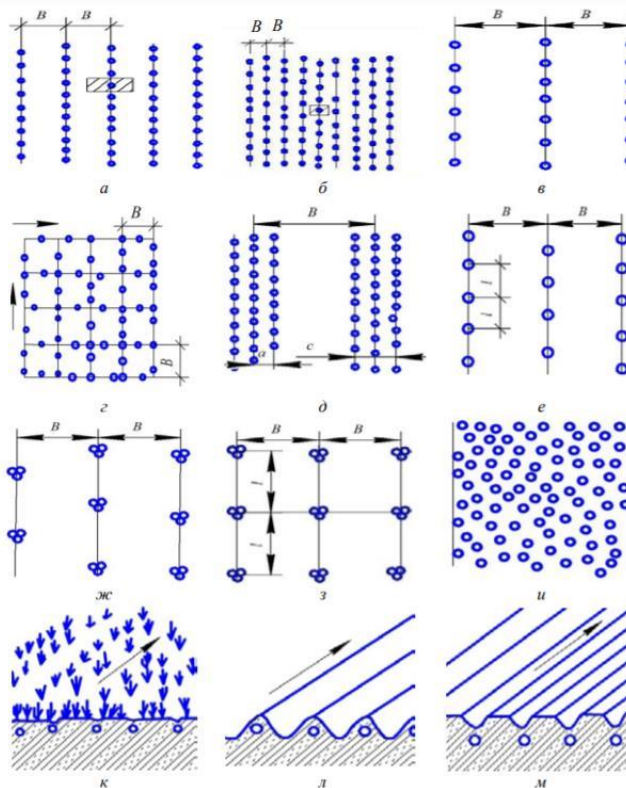


Рисунок 1.2 – Основні способи посіву та висадки насіння й розсади

- Переваги:

- Покращення густоти рослинності у випадках, коли є ризик нерівномірного проростання.

- Може бути корисною для культур, які потребують додаткового простору для кореневої системи.

- Використання: Переважно для вирощування культур, таких як кукурудза, соняшник, бобові.

Сівба стрічками: насіння висіваються в кілька паралельних стрічок або смуг, що можуть бути розташовані на різних відстанях один від одного.

- Переваги:

- Забезпечує оптимальні умови для розвитку кореневої системи і підвищує ефективність використання ресурсів.

- Полегшує виконання агрономічних заходів, таких як обробка ґрунту та збирання врожаю.

Безвідвальна (дискова) сівба: сівба здійснюється без попередньої обробки ґрунту. Насіння висіваються прямо в нерегульовану поверхню ґрунту за допомогою спеціальних сівалок.

- Переваги:

- Зменшення ерозії ґрунту та збереження вологи.

- Зниження витрат на обробку ґрунту і покращення збереження органічної речовини.

- Використання: Широко застосовується в консерваційному землеробстві.

Сівба по поверхневій мульчі: насіння висіваються на поверхню ґрунту, покриту шаром мульчі (органічної або неорганічної). Мульча забезпечує захист від ерозії та зберігає вологу.

- Переваги:

- Покращення збереження вологи в ґрунті.

- Зменшення росту бур'янів і збереження родючості ґрунту.

○ Використання: Підходить для культур, які мають специфічні вимоги до умов вирощування.

### **1.3.2. Вимоги до технологічного процесу посіву**

#### *Підготовка ґрунту*

▪ Ґрунт має бути збагачений необхідними поживними речовинами і підготовлений до посіву, що включає розпушування та вирівнювання.

▪ Важливо забезпечити оптимальний рівень вологості ґрунту для забезпечення кращого проростання насіння.

#### *Вибір насіння*

▪ Насіння повинно бути якісним, здоровим і мати високу схожість. Використання сертифікованого насіння допомагає досягти кращих результатів.

▪ Вибір насіння має відповідати умовам вирощування і характеристикам конкретної культури.

#### *Вирівнювання і глибина посіву*

▪ Глибина посіву повинна бути оптимальною для конкретної культури, зазвичай визначається типом насіння і характеристиками ґрунту.

#### *Технічне оснащення*

▪ Використання сучасних сівалок і технічного оснащення забезпечує точність і ефективність посіву. Сівалки повинні бути налаштовані відповідно до типу насіння і умов ґрунту.

▪ Технічний стан обладнання має бути перевірений і підтримуваний у належному стані для забезпечення безперебійної роботи.

#### *Кліматичні умови*

▪ Посів слід проводити у відповідний сезон і при оптимальних кліматичних умовах для конкретної культури. Це включає температурний режим, рівень вологості і можливість заморозків.

- Оцінка погодних умов і прогнозів допомагає уникнути небажаних погодних явищ, які можуть негативно вплинути на проростання і розвиток рослин.

#### *Обробка після посіву*

- Після посіву необхідно провести заходи для підтримки оптимальних умов для проростання насіння, такі як зволоження або контроль за бур'янами.

- У разі необхідності проводиться додаткова обробка ґрунту для покриття насіння і забезпечення його контакту з ґрунтом.

Отже, ефективність посівного процесу визначається правильним вибором способу посіву та дотриманням вимог до технологічного процесу. Від цього залежить подальший розвиток рослин і їх врожайність. Сучасні технології та обладнання дозволяють забезпечити точність і ефективність посіву, що є критично важливим для досягнення успіху в сільському господарстві.

### **1.4 Конструктивні та функціональні особливості машин для посіву насіння**

Сівалки є важливим інструментом для ефективного посіву сільськогосподарських культур. Їх конструкція і компоновальна схема визначають можливості для точності посіву, зручності експлуатації та технічного обслуговування.

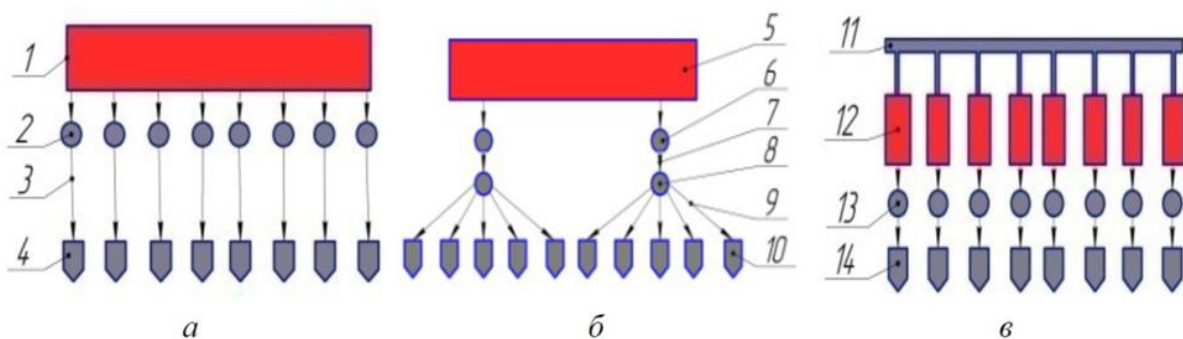


Рисунок 1.3 - Основні компоновальні схеми сівалок

Моноблочні сівалки (рис.1.3, а)

Моноблочні сівалки мають конструкцію, при якій всі основні компоненти агрегуються в єдину, нероздільну одиницю. Це включає в себе раму, посівні механізми, систему живлення насіння, колеса та інші елементи.

Конструктивні особливості:

- Єдина рама: Уся конструкція змонтована на єдиній рамі, що зменшує кількість з'єднувальних вузлів і підвищує жорсткість конструкції.
- Інтегровані компоненти: Сівалка оснащена вбудованими системами для висіву, обробки ґрунту і регулювання глибини посіву.
- Компактність: Завдяки інтегрованій конструкції забезпечується компактний дизайн, що полегшує транспортування і зберігання.

Переваги:

- Простота експлуатації: Зменшене число з'єднань та елементів спрощує налаштування та обслуговування.
- Висока міцність: Компактна конструкція підвищує загальну міцність та стабільність.
- Мобільність: Легше транспортувати завдяки компактним розмірам.

Недоліки:

- Обмежені можливості модернізації: Можливість впровадження нових технологій або адаптацій може бути обмежена.

Роздільно-агрегатні сівалки (рис.1.3.,б)

Роздільно-агрегатні сівалки складаються з окремих одиниць або агрегатів, які можуть працювати разом або окремо. Основні компоненти, такі як рама, посівні елементи, резервуари для насіння і дискові елементи, є окремими частинами, що з'єднуються в процесі експлуатації.

Конструктивні особливості:

- Модульність: Компоненти сівалки можуть бути окремо зібрані та підключені за необхідності. Це забезпечує гнучкість у використанні та обслуговуванні.

- Агрегативання: Основні частини агрегатуються з використанням з'єднувальних механізмів, що дозволяє регулювати їх розташування та функціональність.

- Змінювані компоненти: Можливість заміни або модернізації окремих частин без необхідності заміни всієї сівалки.

Переваги:

- Гнучкість: Можливість адаптації до різних умов та культур завдяки змінюваним компонентам.

- Модернізація: Легке впровадження нових технологій і компонентів.

- Зручність обслуговування: Можливість ремонту без впливу на решту конструкції.

Недоліки:

- Складність з'єднань: Більша кількість з'єднань може вимагати додаткового обслуговування та перевірки.

- Можливі втрати: Ризик втрати компонентів або зниження точності через незадовільне з'єднання частин.

Секційні сівалки (рис.1.3,в)

Секційні сівалки складаються з кількох секцій, які можуть бути розділені або з'єднані для виконання завдань посіву. Кожна секція може містити свій власний набір посівних механізмів та елементів.

Конструктивні особливості:

- Секції: Кожна секція має власний механізм для посіву, обробки ґрунту і регулювання. Секції можуть бути з'єднані між собою або працювати незалежно.

- Регулювання: Кожна секція може бути налаштована окремо для різних типів ґрунту або культур.

- Гнучкість в управлінні: Можливість незалежного регулювання кожної секції забезпечує високу точність та ефективність.

Переваги:

- Точність: Можливість точного налаштування для різних умов і культур.
- Ефективність: Покращення ефективності завдяки розділеному управлінню секціями.

- Адаптивність: Легке налаштування під різні умови та потреби.

Недоліки:

- Складність конструкції: Більш складна конструкція може вимагати більшого технічного обслуговування.

- Вартість: Може бути дорожчою у порівнянні з моноблочними і роздільно-агрегатними сівалками через складнішу конструкцію.

Конструктивні схеми сівалок суттєво впливають на їх ефективність та функціональність. Моноблочні сівалки пропонують простоту і компактність, роздільно-агрегатні — гнучкість і можливість модернізації, а секційні — точність і адаптивність. Вибір конкретної схеми залежить від умов експлуатації, типу культур і вимог до технології посіву.

*Функціональні аспекти сівалок, які впливають на їх ефективність та зручність у використанні*

#### 1. Точність висіву

Аспекти: Регулювання глибини посіву: Механізми, які дозволяють налаштувати глибину висіву насіння для досягнення оптимальних умов проростання. Системи контролю: Використання сенсорів і автоматизованих систем для забезпечення рівномірного розподілу насіння.

Вплив: Підвищення точності висіву допомагає забезпечити однорідність рослин, зменшити конкуренцію за ресурси та підвищити врожайність.

#### 2. Забезпечення рівномірного розподілу насіння

Аспекти: Розподільники: Системи для рівномірного розподілу насіння по полю. Калібрувальні механізми: Для регулювання кількості насіння, що висівається.

Вплив: Рівномірний розподіл насіння забезпечує кращий розвиток рослин і оптимальне використання ресурсів.

### 3. Управління і автоматизація

Аспекти: Автоматичні системи: Включення систем GPS, ГІС та автоматизованих контролерів для точного управління процесом посіву. Моніторинг у реальному часі: Сенсори, що відслідковують стан полів і корегують процес у реальному часі.

Вплив: Зменшує потребу в ручному регулюванні, підвищує точність і ефективність посіву.

### 4. Зручність у використанні

Аспекти: Ergonomics: Комфортні кабіни для оператора, інтуїтивно зрозумілі системи управління. Простота обслуговування: Легкий доступ до вузлів і деталей для обслуговування та ремонту.

Вплив: Підвищує продуктивність праці і зменшує втомлюваність оператора, що позитивно впливає на загальну ефективність.

### 5. Потужність і ефективність

Аспекти: Енергоефективність: Оптимальне використання енергії для виконання посівних робіт. Потужність двигунів: Вибір потужності відповідно до розміру і типу сівалки.

Вплив: Забезпечує ефективне виконання посівних робіт за короткий час і з меншою витратою пального.

### 6. Міцність і довговічність

Аспекти: Матеріали: Використання міцних і стійких до зношування матеріалів для виготовлення основних частин сівалки. Конструктивні рішення: Прийоми, що підвищують довговічність і стійкість до агресивних умов роботи.

Вплив: Зменшує витрати на ремонт і заміну частин, підвищує надійність і термін служби обладнання.

Конструктивні та функціональні особливості машин для посіву є критично важливими для забезпечення ефективного та точного процесу посіву. Основні компоновальні схеми сівалок визначають спосіб розміщення насіння, а функціональні аспекти впливають на їх продуктивність, точність та зручність у використанні. Правильний вибір і налаштування сівалок забезпечують високий рівень врожайності і знижують витрати ресурсів, що є ключовим фактором для успішного ведення сучасного сільського господарства.

### **1.5 Електронні системи управління машин для посіву насіння**

Електронні системи управління сучасних сівалок забезпечують високий рівень точності, ефективності та зручності при проведенні посівних робіт. Інтеграція електроніки у сільськогосподарське обладнання дозволяє автоматизувати багато процесів, що веде до покращення управління та зменшення людської помилки.

#### **1.5.1 Схема оснащення посівних машин електронними системами управління**

*Головний термінал.* Як центральний елемент системи, головний термінал забезпечує користувачеві доступ до всіх параметрів роботи сівалки. Він налаштовує роботу системи, що робить процес управління більш зручним і ефективним. Високоякісні термінали забезпечують не лише простоту в управлінні, але й можливість зберігати і аналізувати дані, що дозволяє оптимізувати процеси на основі історичних даних.

- Це комп'ютер або сенсорний дисплей, через який оператор здійснює контроль і налаштування параметрів посіву.

- Функції:
  - Відображення інформації про стан системи і процес посіву.
  - Регулювання параметрів роботи, таких як глибина посіву, швидкість висіву та інші налаштування.

- Моніторинг даних з сенсорів у реальному часі.

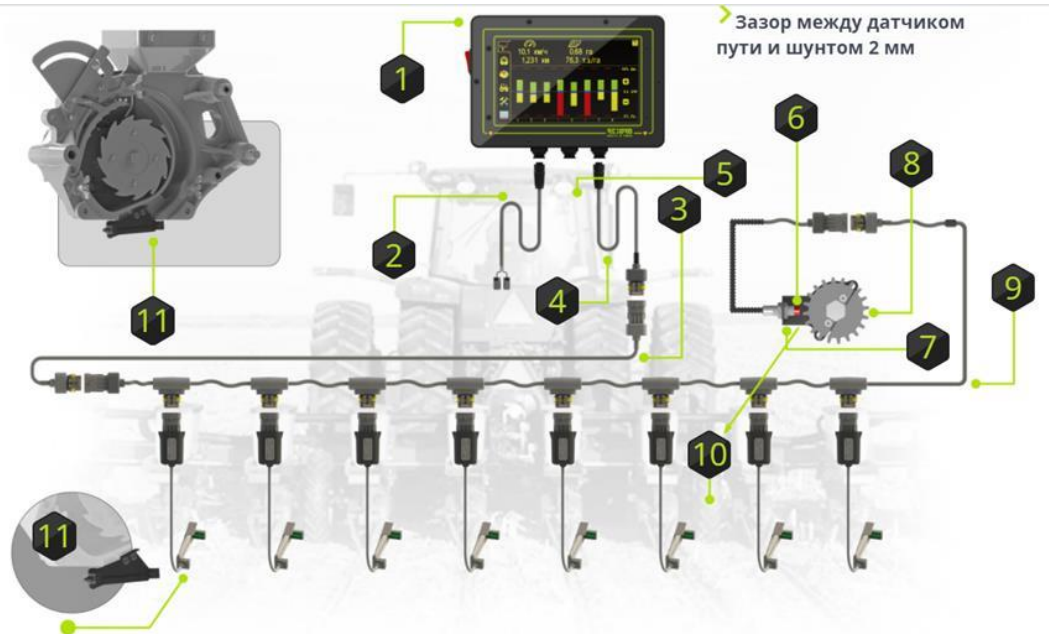


Рисунок 1.4 – Схема оснащення в посівних машинах електронними системами управління:

- 1 – головний термінал; 2 - силовий кабель живлення; 3 – інформаційний кабель; 4 - інформаційний кабель терміналу; 5 - місце кріплення терміналу; 6 – сенсор швидкості (пройденого шляху) 7 – сенсор колії; 8 – шунт сенсора колії; 9 – кабель зв'язку сенсорів; 10 – кронштейн для встановлення сенсора колії; 11 – сенсор контролю висіву

*Силовий кабель живлення.* Забезпечує стабільне електричне живлення для всіх компонентів системи, що є критично важливим для безперебійної роботи. Інформаційний кабель, у свою чергу, забезпечує передачу даних між сенсорами і головним терміналом, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в процесі посіву.

- Функції:
  - Забезпечення стабільного електричного струму для роботи сенсорів, терміналів та інших електронних елементів.
  - Підключення до джерела живлення або до акумуляторної батареї машини.

*Інформаційний кабель.* Передає дані між головним терміналом і сенсорами або іншими компонентами системи.

- Функції:

- Передача сигналів про стан роботи сенсорів.
- Обробка та передача даних про висів, швидкість та інші параметри до терміналу.

*Сенсор швидкості.* Вимірює швидкість руху сівалки або коліс.

- Функції:

- Забезпечення точності висіву через коригування на основі швидкості руху.
- Налаштування і моніторинг параметрів посіву відповідно до швидкості руху.

*Сенсор колії.* Визначає ширину між коліями або рядками.

- Функції:

- Контроль і коригування ширини між рядками для забезпечення точності посіву.
- Допомога в автоматичному регулюванні ширини посіву культури та умов поля.

*Сенсор контролю висіву.* Перевіряє кількість насіння, яке подається в кожен борозну.

- Функції:

- Забезпечення точності висіву шляхом моніторингу і коригування подачі насіння.
- Оповіщення оператора про можливі проблеми або відхилення в процесі посіву.

Сенсори швидкості, колії та контролю висіву є ключовими елементами для забезпечення точності та ефективності посівного процесу. Сенсор швидкості дозволяє коригувати налаштування в реальному часі руху сівалки, що забезпечує рівномірний розподіл насіння. Сенсор колії допомагає підтримувати точність міжрядкових відстаней, що критично важливо для досягнення оптимальної густоти

посіву. Сенсор контролю висіву забезпечує точне розміщення насіння, запобігаючи його нерівномірному розподілу.

### 1.5.2 Оптиелектронний сенсор системи контролю висіву

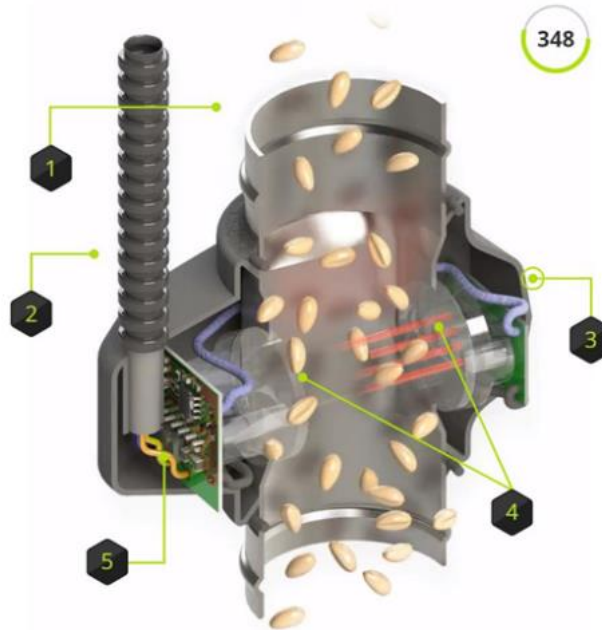


Рисунок 1.5 – Оптиелектронний сенсор системи контролю висіву

*Принцип роботи:* Оптиелектронні сенсори використовують світлові промені для виявлення і підрахунку насіння, що проходять через певну точку. Сенсор випромінює світловий пучок, який переривається насінням. Зміна інтенсивності світлового потоку, що отримується на детекторі, визначає кількість насіння та його частоту.

Переваги:

- Висока точність: Може детектувати навіть невеликі відхилення в кількості насіння.
- Швидкий відгук: Миттєво реагує на зміни в потоці насіння, що забезпечує точний контроль висіву.
- Мінімальний вплив зовнішніх умов: Менш чутливий до змін у вологості або температурі порівняно з механічними системами.

Цей тип сенсора забезпечує високу точність завдяки здатності вимірювати кількість насіння через світлові промені. Принцип роботи, заснований на змінах інтенсивності світлового потоку, дозволяє забезпечити точний контроль за кількістю насіння, що подається, та швидкою реакцією на будь-які відхилення. Переваги включають високу швидкість реакції та меншу чутливість до зовнішніх умов.

### 1.5.3 Інфрачервоний сенсор рівня заповнення



Рисунок 1.6– Інфрачервоний сенсор рівня заповнення

*Принцип роботи:* Інфрачервоні сенсори використовують інфрачервоне випромінювання для визначення рівня заповнення резервуара. Сенсор випромінює інфрачервоні промені, які відбиваються від поверхні насіння або іншого матеріалу. Вимірювання інтенсивності відбитих променів дозволяє визначити рівень заповнення резервуара.

Переваги:

- Неперервний моніторинг: Забезпечує постійний контроль рівня заповнення без необхідності зупинки машини.
- Швидке реагування: Оповіщає про низький рівень заповнення, що дозволяє своєчасно поповнити запас насіння.
- Безконтактний метод: Не потребує фізичного контакту з матеріалом, що зменшує знос і потребу в обслуговуванні.

Цей сенсор забезпечує безперервний моніторинг рівня насіння в резервуарі, підтримує безперебійний процес посіву. Інфрачервоне випромінювання дозволяє

визначити рівень заповнення без фізичного контакту з насінням, що знижує знос компонентів і потребу в технічному обслуговуванні. Переваги цього сенсора включають точність, швидкість реагування та зручність у використанні.

Електронні системи управління машин для посіву насіння забезпечують значне покращення точності та ефективності посівного процесу. Основні компоненти системи, такі як головний термінал, силовий і інформаційний кабелі, сенсори швидкості, колії та контролю висіву, забезпечують комплексний контроль над процесом посіву. Оптиелектронні та інфрачервоні сенсори грають важливу роль у забезпеченні високої точності і зручності в управлінні, що сприяє підвищенню продуктивності та якості сільськогосподарських робіт.

#### *Вплив на практичне використання*

Завдяки впровадженню електронних систем управління, сучасні сівалки стають значно більш ефективними і зручними в експлуатації. Це веде до:

- Підвищення точності посіву.
- Зниження витрат: автоматизація процесів управління дозволяє знизити витрати на робочу силу та зменшити витрати на ресурси завдяки точному розподілу насіння.
- Збільшення ефективності: електронні системи дозволяють швидше і точніше реагувати на зміни в процесі посіву, що підвищує загальну продуктивність.
- Полегшення обслуговування: інтуїтивно зрозумілі інтерфейси і точні сенсори зменшують потребу в ручному обслуговуванні та перевірках.

Отже, електронні системи управління в посівних машинах значно покращують процеси посіву насіння, забезпечуючи точність, ефективність і зручність. Інтеграція різних сенсорів і компонентів дозволяє досягти високих результатів у сільському господарстві, сприяючи підвищенню продуктивності та якості врожаю.

## 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОННОГО УПРАВЛІННЯ ВИСІВУ

Автоматизоване електронне управління висівом насіння є складним процесом, що використовує сучасні технології для досягнення високої точності та ефективності в аграрному виробництві. Цей процес включає в себе аналіз вихідних даних, таких як електронні карти полів, принципи роботи системи аналізу інформації, основні етапи системи управління висівом та алгоритм реалізації диференційованого висіву.

### 2.1 Аналіз вихідних даних

Сучасні технології точного землеробства дозволяють оптимізувати процес висіву насіння завдяки використанню електронних карт полів та автоматичній зміні норми для диференційованого дозування. Основними джерелами вихідних даних для таких систем є електронні карти полів та дані з глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS).

Електронні карти полів та автоматична зміна норми для диференційованого дозування показана на рис. 2.1

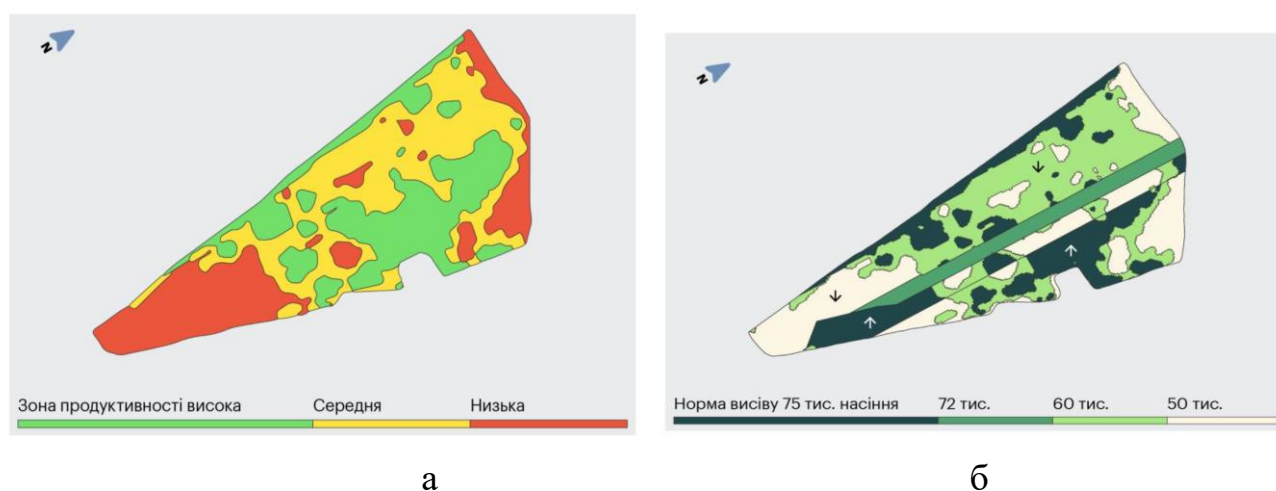


Рисунок 2.1 – Електронна карта поля: а – карта врожайності попереднього року; б - карта диференційованого висіву

Електронні карти полів є основою для реалізації точного землеробства. Вони містять детальну інформацію про агрономічні характеристики різних зон поля, такі як вміст поживних речовин, структуру ґрунту, попередні врожаї та інші важливі параметри. Використовуючи ці карти, система управління висівом може змінювати норму висіву насіння в режимі реального часу відповідно до специфічних потреб кожної зони поля.

Принципи роботи системи аналізу інформації-завдання з картографічного файлу.

Система управління висівом аналізує інформацію, отриману з картографічного файлу, і коригує роботу висівного апарата залежно від поточного місцезнаходження машини, визначеного за допомогою GNSS. Основні етапи цього процесу включають:

1. Завантаження картографічних даних: Дані з електронних карт полів завантажуються в систему управління висівом перед початком польових робіт.

2. Синхронізація з GNSS: Під час роботи система отримує дані про поточне місцезнаходження машини від GNSS.

3. Аналіз зони поля: Відповідно до поточного місцезнаходження, система визначає, в якій зоні поля знаходиться машина, і які агрономічні характеристики мають впливати на норму висіву.

4. Коригування норми висіву: На основі аналізу зональних даних система автоматично коригує норму висіву насіння для досягнення оптимальних результатів.

Алгоритм реалізації диференційованого висіву насіння див.рис.2.2

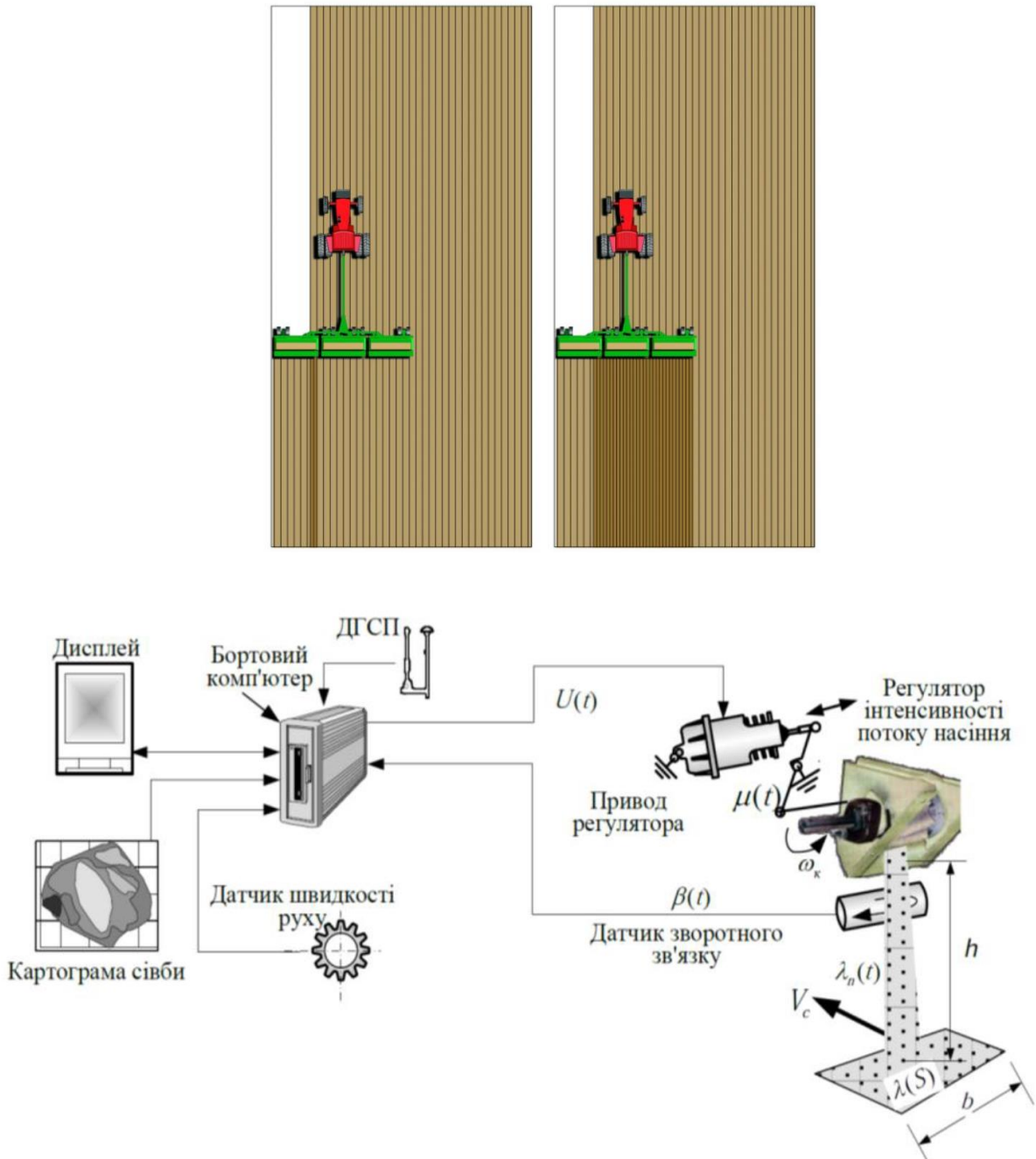


Рисунок 2.2 – Алгоритм реалізації диференційованого висіву насіння

Алгоритм реалізації диференційованого висіву насіння базується на інтеграції картографічних даних та GNSS-інформації для точного управління висівним апаратом. Основні кроки алгоритму включають:

1. Підготовка даних:

- Створення електронних карт полів: Агрохімічний аналіз ґрунту, зонування поля на основі вмісту поживних речовин та інших параметрів.

- Завантаження карт у систему: Перенесення підготовлених картографічних даних у систему управління висівом.

## 2. Початок посівних робіт:

- Ініціалізація системи: Синхронізація системи управління з GNSS для отримання точних координат машини.

- Налаштування параметрів: Введення початкових параметрів висіву (тип насіння, базова норма висіву тощо).

## 3. Процес висіву:

- Визначення зони поля: В режимі реального часу система визначає поточне місцезнаходження машини на полі.

- Аналіз зональних характеристик: На основі даних з електронної карти система аналізує агрономічні характеристики поточної зони.

- Коригування норми висіву: В залежності від зональних характеристик, система автоматично змінює норму висіву, щоб забезпечити оптимальний висів насіння.

## 4. Моніторинг та корекція:

- Постійний моніторинг: Система безперервно моніторить процес висіву, коригуючи норму у разі зміни умов або виявлення відхилень.

- Зворотний зв'язок: Оператор отримує інформацію про роботу системи та може втручатися у разі потреби.

Отже, використання електронних карт полів та системи диференційованого дозування дозволяє значно підвищити точність і ефективність процесу висіву насіння. Це не тільки забезпечує рівномірний висів, але й оптимізує використання насіння, зменшуючи витрати і підвищуючи врожайність. Алгоритми та технології, що використовуються для реалізації таких систем, є ключовими компонентами сучасного точного землеробства, спрямованого на максимальне використання агрономічних даних для прийняття оптимальних рішень у сільськогосподарському виробництві.

## 2.2 Дослідження точності висіву за даними сенсора інтенсивності потоку насіння

У цьому підрозділі розглянемо принцип роботи сенсора інтенсивності потоку насіння, методологію дослідження точності висіву, результати дослідження, основні фактори, що порушують технологічну ефективність посівних машин, а також критерії оцінки ефективності сівалок точного висіву і щільність розподілу насіння.

### *Принцип роботи сенсора інтенсивності потоку насіння*

Сенсор інтенсивності потоку насіння призначений для вимірювання кількості насіння, що проходить через посівну систему в одиницю часу. Основні типи сенсорів включають оптоелектронні та інфрачервоні сенсори.

- **Оптоелектронний сенсор:** Цей сенсор використовує світловий пучок для виявлення насіння. Насіння перериває світловий потік, що дозволяє сенсору підраховувати кількість насіння та його інтенсивність. Зміни в інтенсивності світла детектуються та перетворюються в електричний сигнал, який аналізується для визначення швидкості подачі насіння.

- **Інфрачервоний сенсор:** Інфрачервоні сенсори використовують інфрачервоне випромінювання для вимірювання рівня насіння в резервуарі або потоку насіння. Випромінювач посилає інфрачервоні промені, які відбиваються від насіння і детектуються сенсором. Рівень відбитого випромінювання корелює з кількістю насіння.

### *Методологія дослідження точності висіву*

Для оцінки точності висіву за даними сенсора інтенсивності потоку насіння використовуються різні методи, включаючи лабораторні та польові випробування.

1. **Лабораторні випробування:**
  - **Налаштування сенсора:** Сенсор встановлюється в контрольованих умовах, де подається відома кількість насіння для перевірки його точності.

- Калібрування: Вимірюється точність сенсора при різних швидкостях і рівнях насіння.

- Аналіз даних: Порівняння даних сенсора з фактичними кількісними показниками для оцінки похибки.

## 2. Польові випробування:

- Серії посівів: Проведення посівів на різних ділянках поля для перевірки точності в реальних умовах.

- Збір даних: Вимірювання розподілу насіння по полю та порівняння з даними сенсора.

- Аналіз: Визначення відхилень між очікуваним і фактичним розподілом насіння.

### *Результати дослідження*

Дослідження точності висіву за даними сенсора інтенсивності потоку насіння показують, що сенсори можуть забезпечити високу точність при умові правильного налаштування та калібрування. Результати можуть варіюватися в залежності від типу сенсора, швидкості руху сівалки та характеристик насіння. Зокрема:

- Оптиелектронні сенсори: Показали високу точність в умовах стандартного потоку насіння, але можуть бути чутливі до пилу і вологи.

- Інфрачервоні сенсори: Забезпечують стабільні результати в умовах змінної вологості та різних типів насіння.

### *Основні фактори порушення технологічної ефективності посівних машин*

- Неправильне калібрування сенсорів: Неправильно налаштовані сенсори можуть давати неточні дані про кількість насіння.

- Забруднення сенсорів: Пил, волога або залишки насіння можуть перешкоджати коректній роботі сенсорів.

- Нерівномірний розподіл насіння: Порушення в механізмі подачі насіння можуть призвести до нерегулярного розподілу.

- Проблеми з потоком насіння: Неправильна робота механізму подачі або змішування насіння, що впливає на висів.

*Основні критерії оцінки ефективності сівалок точного висіву*

- Точність висіву: Вимірюється відхилення між заданими і фактичними нормами висіву.

- Рівномірність розподілу насіння: Оцінюється за допомогою тестових ділянок, де перевіряється однорідність розподілу насіння.

- Стабільність роботи: Перевіряється, наскільки стабільно сенсори та механізми працюють при різних умовах.

- Зносостійкість: Оцінюється на основі довговічності сенсорів і інших компонентів сівалки.

*Щільність розподілу насіння*

Щільність розподілу насіння є критичним параметром, який впливає на врожайність і здоров'я рослин. Ідеальна щільність розподілу забезпечує оптимальні умови для росту рослин, дозволяючи кожній рослині отримувати достатню кількість ресурсів.

- Оцінка: Щільність розподілу насіння вимірюється за допомогою тестових ділянок і аналізу результатів.

- Оптимальні параметри: Для кожного типу культури визначаються оптимальні значення щільності розподілу, які можуть варіюватися в залежності від конкретних умов вирощування.

Дослідження точності висіву за даними сенсора інтенсивності потоку насіння демонструє важливість правильного налаштування і обслуговування сенсорів для забезпечення високої точності та ефективності посіву. Технологічні переваги сенсорів включають їх здатність забезпечувати точний контроль над процесом висіву, але ефективність системи може бути порушена різними факторами, такими як забруднення, неправильне калібрування або механічні проблеми. Оцінка ефективності сівалок точного висіву повинна включати критерії точності,

рівномірності розподілу насіння, стабільності роботи та зносостійкості, а також враховувати оптимальну щільність розподілу насіння для забезпечення високих врожаїв і здоров'я рослин.

### **Щільність розподілу насіння**

Щільність поділу насіння визначається кількістю насінин, які висіваються на одиницю площі (наприклад, на квадратний метр або гектар). Рівномірність висіву є критично важливою, оскільки це забезпечує:

- Оптимальну конкуренцію між рослинами за ресурси (воду, світло, поживні речовини).
- Запобігання перевантаженню окремих рослин, що може призвести до їхньої загибелі або зниження врожайності.

$$\lambda(S) = \frac{\lambda_n(t)}{bV_c}, \quad (2.1)$$

де  $\lambda_n(t)$  - інтенсивність висіву насіння апаратом;

$b$  - відстань між рядками;

$V_c$  - швидкість руху МТА по полю.

**Інтенсивність потоку насіння** у контексті сівальних машин визначається як кількість насінин, які проходять через певну точку системи за одиницю часу. Цей показник є важливим для оцінки продуктивності сівалки та її здатності забезпечувати задану норму висіву. Інтенсивність потоку може впливати на рівномірність висіву, якість посіву та, зрештою, на врожайність.

Фактична інтенсивність потоку насіння ( $I_p$ ) може бути визначена за формулою:

$$I = \int [(\lambda(t) - \lambda_n(t))^2] dt, \quad (2.2)$$

**Постійна похибка** (або систематична похибка) у визначенні місцезнаходження за допомогою Глобальних Навігаційних Систем (ГНСС), таких

як GPS, є критично важливим аспектом, що впливає на точність роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА).

$$\lambda(t) = K_{va} \mu(t), \quad (2.3)$$

де  $\mu$  - задана продуктивність висівального апарату;

$K_{va} = \overline{K_{va}} (1 + \Delta \overline{K_{va}} + \xi_{va})$  - коефіцієнт, що враховує неточність дозування

під час використання механічних систем і передач;

$\overline{K_{va}}$  - сумарна величина коефіцієнта неточності передачі;

$\Delta \overline{K_{va}}$  системна дія коефіцієнта неточності передачі;

$\xi_{va}$  - можливість появи випадкових відхилень.

Зміна інтенсивності потоку

$$T_p^2 \mu''(t) + D_p \mu'(t) + \mu(t) = K_p U(t), \quad (2.4)$$

де  $K_p, D_p$  та  $T_p^2$  - технологічні параметри системи приводу дозатора;

$U(t)$  - зміна керуючого сигналу.

Параметри керуючого сигналу

$$T_d \beta'(t) + \beta(t) = K_d \lambda(t), \quad (2.5)$$

де  $T_d$  - затримка сигналу сенсора по часу;

$K_d = \overline{K_d} (1 + \Delta \overline{K_d} + \xi_d)$  - коефіцієнт передачі сигналу сенсора;

Загальна характеристика сенсора

$$W_k = \frac{K_k}{T_k^2 p^2 + D_k p + 1}, \quad (2.6)$$

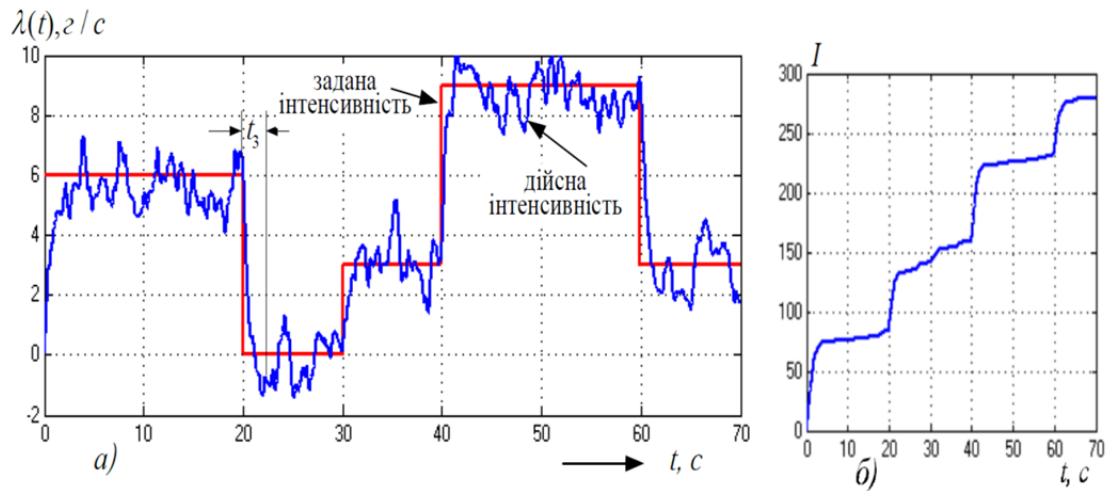


Рисунок 2.3 – Визначення різниці між заданою та фактичною нормою висіву (за сенсором висіву)

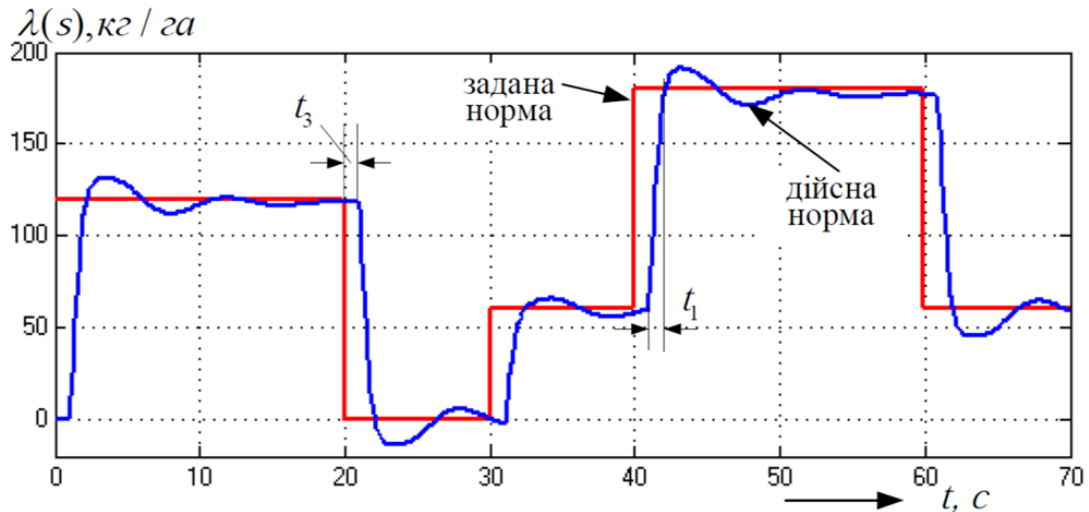


Рисунок 2.4 – Визначення різниці між заданою та фактичною апроксимована нормою висіву (за даними польового комп'ютера)

Постійна похибка визначення власного місцезнаходження МТА за даними глобальної навігаційної системи є важливим чинником. Розуміння причин виникнення цієї похибки і методів її вимірювання та корекції є критично важливими для забезпечення високої точності та надійності позиціонування. Використання сучасних технологій корекції сигналів і адаптивних алгоритмів може значно зменшити постійну похибку, та покращити результати роботи машинно-тракторних агрегатів.

## **3 МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Вихідні дані та умови проведення досліджень**

Для проведення експериментальних досліджень було обрано посівну машину точного висіву HORSCH Maestro, яка призначена для висіву просапних культур, таких як кукурудза, соняшник та соя. Дана сівалка обладнана електронною системою керування, що забезпечує точне дозування та розміщення насіння, що дозволяє оптимізувати густоту висіву, що є важливим аспектом для отримання високих урожаїв.

*Вихідні дані:*

1. Тип посівної машини: HORSCH Maestro з електронною системою керування.

2. Культура: кукурудза (або інші просапні культури, залежно від умов експерименту).

3. Норма висіву: згідно з агротехнічними вимогами для обраної культури (наприклад, для кукурудзи 70-80 тисяч насінин на гектар).

4. Глибина висіву: 5-6 см, що відповідає оптимальним умовам для проростання.

5. Швидкість руху трактора: 8-12 км/год для забезпечення рівномірності висіву та уникнення пропусків.

*Умови проведення досліджень:*

1. Погодні умови: дослідження проводились у період з оптимальною вологістю ґрунту (60-70% від повної польової вологоємності), що сприяє рівномірному проростанню насіння.

2. Ґрунтові умови: рівномірна структура ґрунту середньої важкості (середньосуглинковий чорнозем), який був попередньо підготовлений за допомогою традиційної технології обробітку ґрунту (оранка на глибину 25-30 см).

3. Система контролю: під час досліджень використовувалась система автоматичного контролю висіву, яка дозволяє в реальному часі моніторити параметри висіву, такі як кількість насіння, розподіл насінин у рядку та рівномірність висіву.

4. Дослідне поле: розмір поля для проведення експерименту становив 10 гектарів, що дозволило отримати репрезентативні дані для аналізу ефективності електронної системи керування.

Дослідження проводились з метою порівняння традиційних механічних систем висіву з електронною системою керування HORSCH Maestro, для визначення точності висіву та впливу на рівень урожайності.

*Основні характеристики посівних машин HORSCH Maestro:*

1. Призначення: Машини HORSCH Maestro призначені для точного висіву просапних культур, таких як кукурудза, соняшник, соя, цукрові буряки та інші культури.

2. Технологія точного висіву: HORSCH Maestro обладнана системою дозування насіння, яка використовує електричні приводи для кожного висівного апарата. Це забезпечує високу точність висіву, що особливо важливо при роботі на високих швидкостях.

3. Електронна система керування:

- Електронна система дозволяє оператору налаштовувати норму висіву та інші параметри з кабіни трактора.

- Використовується система автоматичного контролю якості висіву в реальному часі.

- Моніторинг і корекція здійснюються через інтерфейс HORSCH Terminal або інтегровані системи управління трактора (ISOBUS).

4. Продуктивність:

- Сівалки HORSCH Maestro можуть працювати на швидкостях до 15 км/год без втрати якості висіву, завдяки потужній електронній системі контролю та високоточним висівним секціям.

- Ширина захвату варіюється від 6 до 12 рядків, з можливістю регулювання міжряддя (70 см для кукурудзи).

#### 5. Контроль глибини висіву:

- Завдяки паралелограмній підвісці та гідравлічним механізмам, забезпечується точне дотримання заданої глибини висіву навіть на нерівностях поля.

#### 6. Система внесення добрив:

- Машина оснащена бункером для одночасного внесення добрив, що дозволяє одночасно вносити стартову дозу мінеральних добрив у рядок з насінням.

#### 7. Система внесення мікродобрив та інсектицидів: Деякі моделі мають додаткові опції для внесення мікродобрив або засобів захисту рослин.

#### 8. Налаштування дозволяють висівати від 2 до 50 насінин на метр, що робить машину універсальною для різних типів культур.

#### 9. Точність розподілу насіння:

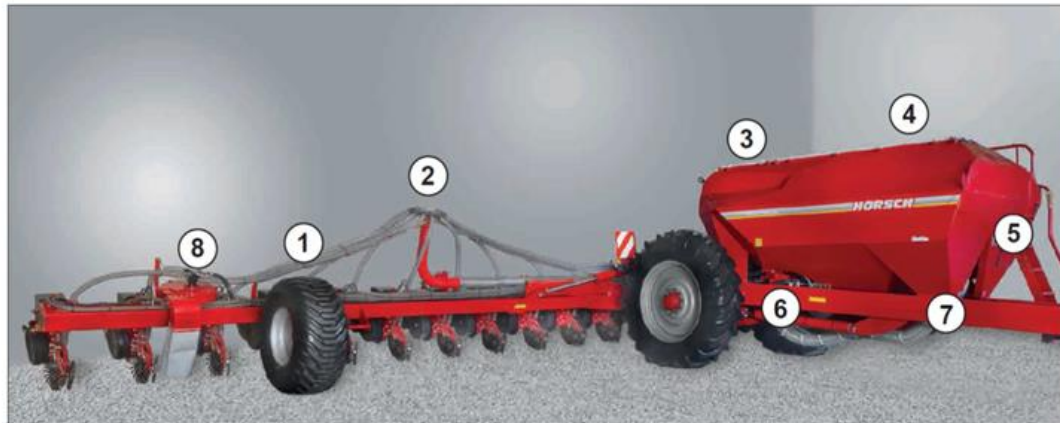
- Завдяки спеціальній вакуумній системі відбору насіння, забезпечується рівномірний розподіл насінин без подвійних або пропущених місць.

#### 10. Сумісність із системами точного землеробства:

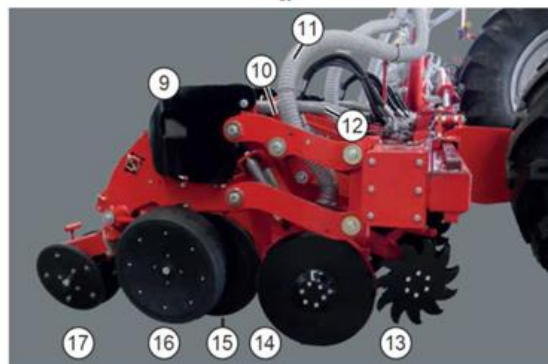
- HORSCH Maestro повністю інтегрована з системами точного землеробства, що дозволяє використовувати навігаційні системи та карти завдань для диференційованого висіву на різних ділянках поля.

Ці характеристики дозволяють досягти високої точності та продуктивності при висіві культур, мінімізуючи втрати насіння та забезпечуючи рівномірне проростання.

## Опис посівної машини HORSCH Maestro



а



б

Рисунок 3.1 – Посівна машина HORSCH Maestro (а – загальний вигляд; б – висівна секція): 1 - опорне колесо; 2 - розподільник добрив; 3 – бункер насіння; 4 – бункер для добрив; 5 – трап; 6 – нагнітач повітря; 7 - нагнітач повітря для добрив; 8 – вакуумний нагнітач; 9 - дозатор одиночного висіву; 10 – гідравлічний довантажувач сошників; 11 – туковисівні проводи; 12 – насіннепроводи; 13 – зірочки очисника; 14 - дисковий сошник для внесення добрив; 15 - дисковий сошник для внесення насіння; 16 – колеса стабілізації глибини; 17 - котки

### Мета та завдання досліджень

Мета дослідження полягає в оцінці доцільності впровадження електронної системи керування сівалкою точного висіву HORSCH Maestro для просапних культур. Зокрема, дослідження спрямоване на визначення впливу електронної системи керування на точність висіву, рівномірність розподілу насіння,

продуктивність роботи та кінцеву врожайність у порівнянні з традиційними механічними системами. Метою також є аналіз економічної ефективності впровадження цієї технології для покращення агрономічних показників та оптимізації витрат на посів.

### **Умови проведення досліджень**

Умови проведення дослідження передбачали такі аспекти:

1. Дослідне поле:
  - Місце проведення: польовий експеримент було проведено на аграрному полі розміром 10 гектарів, де вирощуються просапні культури (кукурудза, соняшник).
  - Тип ґрунту: середньосуглинковий чорнозем, підготовлений за класичною технологією (оранка на глибину 25-30 см).
  - Попередні культури: озима пшениця, що забезпечило добрий попередній стан ґрунту.
2. Погодні умови:
  - Температура повітря під час висіву становила +18...+22°C.
  - Вологість ґрунту: 60-70% від повної польової вологості, що забезпечувало оптимальні умови для проростання насіння.
3. Посівний матеріал:
  - Використовувалось сертифіковане насіння кукурудзи високої якості зі схожістю не менше 95%.
4. Посівна машина:
  - Сівалка HORSCH Maestro з електронною системою керування, оснащена вакуумною системою дозування насіння та можливістю внесення добрив.
  - Налаштування машини для кожного поля включало глибину висіву 5-6 см і міжряддя 70 см, що є стандартним для кукурудзи.
  - Швидкість руху від 8 до 12 км/год для збереження рівномірності висіву.
5. Контрольні показники:

- Порівняння проводилося між полями, на яких використовувалась сівалка з електронною системою керування, та полями з традиційними механічними системами.

- Оцінювалися такі показники: точність висіву (кількість подвійних або пропущених насінин), рівномірність розміщення насіння в рядку, швидкість проростання насіння та загальна врожайність.

#### 6. Системи моніторингу:

- Використовувались системи точного землеробства для збору даних про кожен висіяний рядок та для подальшого аналізу ефективності роботи електронної системи керування HORSCH Maestro.

- Дані щодо посіву збирались за допомогою ISOBUS-сумісних систем керування, які забезпечували реальний контроль за глибиною і нормою висіву.

Ці умови забезпечили репрезентативні дані для проведення експериментального дослідження та аналізу ефективності системи точного висіву HORSCH Maestro.

### **Методика проведення досліджень**

Для оцінки ефективності електронної системи керування сівалкою точного висіву HORSCH Maestro було розроблено наступну методику проведення дослідження:

#### *Вибір дослідних ділянок:*

- Для експерименту було обрано дві однакові за площею ділянки поля (по 10 гектарів), одна з яких засівалася сівалкою HORSCH Maestro з електронною системою керування, а інша — сівалкою з традиційною механічною системою.

- Ділянки мали однаковий агрофон: тип ґрунту, попередню культуру, рівень вологості ґрунту, ідентичні метеорологічні умови.

#### *Підготовка посівного матеріалу:*

- Для досліджень використовувалося сертифіковане насіння кукурудзи з високою схожістю (не менше 95%).

- Насіння було відкаліброване для забезпечення рівномірного висіву та зниження ризику подвійних або пропущених висівів.

*Підготовка посівної машини HORSCH Maestro:*

- Налаштування сівалки включало встановлення електронної системи на норму висіву (близько 70-80 тис. насінин на гектар), глибину висіву (5-6 см), і міжряддя (70 см).

- Використовувалась система автоматичного контролю для моніторингу процесу висіву в реальному часі.

*Процедура висіву:*

- Сівалка HORSCH Maestro працювала зі швидкістю 8-12 км/год, що забезпечувало збереження точності висіву при високій швидкості роботи.

- Для порівняння, механічна сівалка працювала за стандартними налаштуваннями, відповідними для конкретної культури.

*Моніторинг і збір даних:*

- Під час висіву за допомогою електронної системи керування проводився безперервний моніторинг параметрів посіву (кількість насіння, його розподіл у рядках, глибина висіву) через термінал керування.

- Для обох ділянок після висіву проводився візуальний контроль рівномірності розподілу насіння.

- Дані щодо висіву збирались за допомогою ISOBUS-систем, які забезпечували точний аналіз кожного рядка.

*Оцінка точності висіву:*

- Відбиралися проби насінневих рядків з інтервалом кожні 100 метрів для вимірювання кількості насіння на один погонний метр та визначення точності висіву.

- Визначалися такі показники, як кількість подвійних або пропущених насінин, а також відстань між насінинами.

#### *Оцінка рівня проростання насіння:*

○ Через 10-14 днів після посіву було проведено обстеження дослідних ділянок для визначення кількості пророслих насінин, що дозволило оцінити рівень проростання.

○ Дані були зіставлені з показниками, отриманими з сівалки HORSCH Maestro, для аналізу точності посіву.

#### *Оцінка врожайності:*

○ Врожайність визначалась після збору кукурудзи з обох дослідних ділянок. Показники врожайності аналізувалися для визначення впливу точності висіву на кінцевий результат.

○ Оцінювалися також економічні показники, такі як витрати на насіння, добрива та інші ресурси.

#### *Порівняльний аналіз:*

○ Результати з двох ділянок (сівалка з електронною та механічною системами) порівнювалися за такими показниками: точність висіву, рівень проростання, рівномірність розподілу насіння, продуктивність роботи та врожайність.

Ця методика дозволила отримати точні дані для оцінки ефективності електронної системи керування сівалкою HORSCH Maestro та її впливу на продуктивність і економічну доцільність використання.

### **Параметри та критерії оцінки**

Для оцінки ефективності електронної системи керування сівалкою точного висіву HORSCH Maestro, дослідження проводилось з урахуванням таких основних параметрів та критеріїв:

#### *Параметри точності висіву:*

• Кількість насіння на погонний метр: визначається середньою кількістю насінин, висіяних на один метр рядка.

- Інтервал між насінинами: вимірюється відстань між насінинами в рядку для визначення рівномірності розподілу.
- Кількість подвійних насінин: це насіння, висіяне з меншою відстанню між собою, ніж передбачено.
- Кількість пропусків: випадки, коли насіння не було висіяно на певному відрізку рядка.

*Параметри проростання насіння:*

- Відсоток проростання: відношення кількості пророслих насінин до кількості висіяного насіння на контрольних відрізках.
- Однорідність сходів: рівномірність проростання насіння по всьому рядку і на всій ділянці.

*Агротехнічні параметри:*

- Глибина висіву: точність дотримання встановленої глибини висіву (5-6 см для кукурудзи), що є важливим для рівномірного проростання.
- Швидкість роботи сівалки: середня швидкість руху під час посіву (8-12 км/год), при якій зберігається якість висіву.
- Міжряддя: фіксована ширина міжряддя (70 см), яка використовується для просапних культур, таких як кукурудза.

*Параметри продуктивності:*

- Час виконання робіт: тривалість висіву на визначеній площі, що впливає на загальну продуктивність процесу.
- Витрати палива: кількість витраченого палива на одиницю площі, що допомагає оцінити економічну ефективність.

*Критерії оцінки врожайності:*

- Середня врожайність: кількість зібраної кукурудзи на гектар з кожної дослідної ділянки.
- Однорідність врожаю: рівномірність урожаю на всій площі поля, яка залежить від точності висіву та рівномірності проростання.

#### *Економічні параметри:*

- Витрати на насіння: кількість насіння, витраченого на одиницю площі, з урахуванням точності висіву та кількості подвійних або пропущених насінин.
- Витрати на добрива та паливо: порівняння витрат на добрива та паливо між ділянками з електронною системою керування та механічною системою.

#### *Критерії ефективності електронної системи керування:*

- Точність висіву: порівняння рівня точності висіву між електронною та механічною системами.
- Зниження кількості пропусків і подвійних насінин: показник, який демонструє якість роботи електронної системи контролю висіву.
- Вплив на врожайність: оцінка зростання врожайності при використанні електронної системи керування.
- Зниження витрат ресурсів: економія насіння, палива та добрив завдяки більш точному висіву та оптимальному використанню ресурсів.

Ці параметри та критерії дозволили детально проаналізувати результати дослідження, зробити порівняння між електронною та механічною системами висіву та оцінити загальну ефективність використання HORSCH Maestro.

### **3.2 Методика та обладнання для дослідження електронної системи управління сівалкою**

Для дослідження ефективності та функціонування електронної системи керування сівалкою HORSCH Maestro була застосована спеціальна методика, що включала збір даних, використання сучасного обладнання та проведення аналізу в полі.

#### *Підготовка дослідної ділянки*

- Місце проведення: експеримент проводився на полі, поділеному на дві ділянки (одна — для сівалки з електронною системою, інша — для традиційної механічної сівалки).

- Підготовка ґрунту: на обох ділянках проводилося ідентичне попереднє оброблення ґрунту (оранка, боронування) для забезпечення рівних умов.

- Вологість ґрунту та температурні умови: підготовка дослідження враховувала поточні метеорологічні умови, такі як вологість ґрунту та температура повітря, які були однаковими на обох ділянках.

#### *Посівний матеріал*

- Використовувалося відкаліброване насіння кукурудзи для забезпечення рівномірного висіву.

- Важливо було забезпечити однакову якість насіннєвого матеріалу для обох ділянок.

#### *Обладнання*

- Сівалка HORSCH Maestro: основний об'єкт дослідження, оснащений електронною системою керування, яка забезпечує автоматичний контроль висіву.

- Електронна система: інтегроване програмне забезпечення для налаштування норми висіву, глибини, швидкості, а також автоматичного моніторингу в реальному часі.

- Технологія ISOBUS: використовувалася для збору даних про точність висіву, кількість насіння на погонний метр, кількість подвійних або пропущених насінин.

- Трактор з системою точного водіння:

- Трактор, який працював із сівалкою, був оснащений системою GPS-навігації для точного проходження по ділянці з мінімальними відхиленнями від заданого маршруту. Це дозволяло виключити вплив людського фактора на точність висіву.

- Датчики для моніторингу роботи сівалки:

- Датчики контролю висіву: монтуються на сівалці для контролю потоку насіння через кожен висівний апарат.

- Датчики тиску ґрунту: використовувалися для оцінки тиску на висівні секції, що дозволяло підтримувати постійну глибину висіву.

- Система збору та обробки даних:

- Під час посіву використовувалася система збору даних з датчиків сівалки, підключена до монітору в кабіні трактора. Дані зберігалися для подальшого аналізу.

#### *Процедура дослідження*

1. Встановлення параметрів на сівалці:

- Для електронної системи було налаштовано наступні параметри: норма висіву (70 тис. насінин/га), глибина висіву (5 см), міжряддя (70 см), швидкість посіву (8-12 км/год).

- Для механічної сівалки налаштування проводилися вручну, виходячи з аналогічних параметрів.

2. Посів кукурудзи:

- Посів проводився одночасно на обох ділянках з ідентичними параметрами, за винятком різниці в системах керування сівалками.

3. Моніторинг в реальному часі:

- За допомогою електронної системи контролю висіву (система ISOBUS) в режимі реального часу відстежувалася рівномірність розподілу насіння, кількість подвійних і пропущених насінин, глибина висіву, а також швидкість трактора.

4. Післяпосівні вимірювання:

- Після завершення посіву було проведено візуальний контроль рядків для оцінки точності висіву.

- На різних ділянках поля були вибрані контрольні проби для вимірювання кількості насінин на один погонний метр та оцінки кількості пропусків і подвійних висівів.

5. Моніторинг проростання:

- Через 10-14 днів після висіву були проведені заміри кількості пророслих насінин для оцінки рівня проростання і рівномірності сходів.

## 5. Методи аналізу даних

- Статистичний аналіз: всі зібрані дані (кількість насіння на погонний метр, кількість подвійних або пропущених насінин, рівень проростання) були проаналізовані за допомогою статистичних методів. Оцінювалась середня та варіативність результатів для обох систем висіву.

- Аналіз врожайності: після збору врожаю була проведена оцінка середньої врожайності з кожної ділянки для порівняння впливу різних систем керування на кінцеві результати.

Ця методика дозволила детально дослідити ефективність електронної системи керування сівалкою HORSCH Maestro, оцінити її вплив на точність висіву, рівномірність сходів і врожайність, а також провести порівняння з традиційною механічною системою.

### **3.3 Результати дослідження керуючих сигналів електронної системи управління сівалкою**

У процесі дослідження керуючих сигналів електронної системи управління сівалкою HORSCH Maestro були проведені вимірювання параметрів сигналів у різних умовах роботи. Для цього використовувалися портативний ПК, осцилограф Hantek 1008B, а також цифровий мультиметр для точного вимірювання напруги, струму та опору.

Умови дослідження:

- а) При відсутньому висіву насіння
- б) При висіву зернин згідно норм
- в) При висіву згідно норм, але при наявному додатковому опорі в електричному колі — 4 кОм

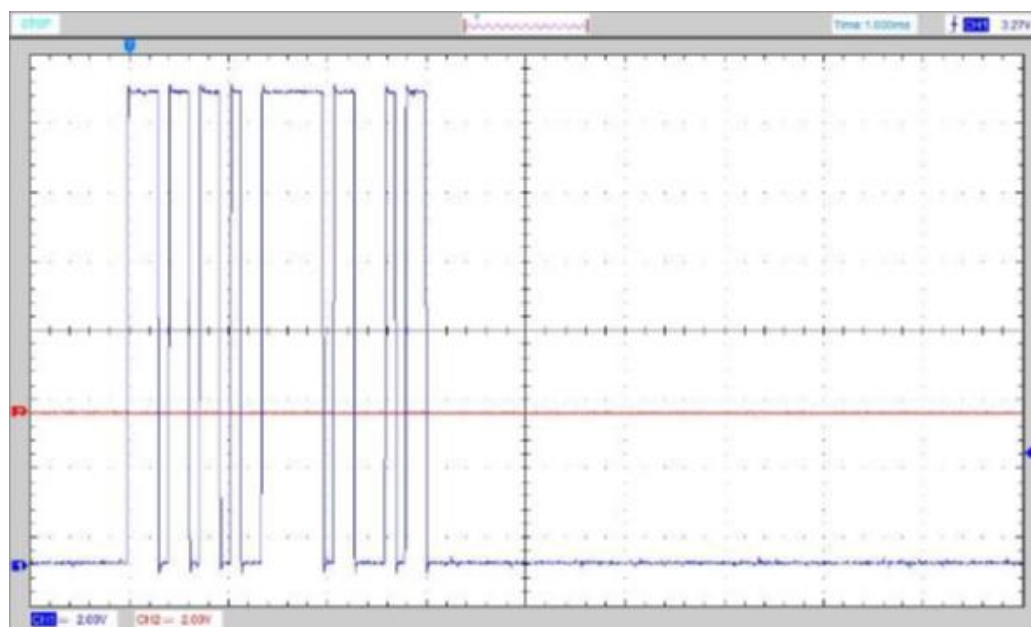
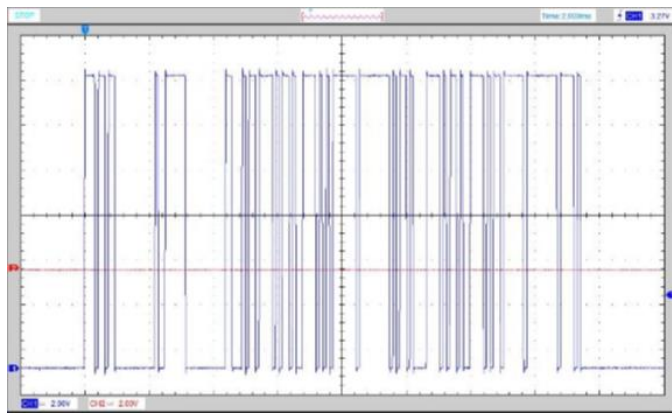


Рисунок 3.2– Генерування керуючого сигналу сенсора контролю висіву (ідентифікації пристрою в системі без подачі насіння)

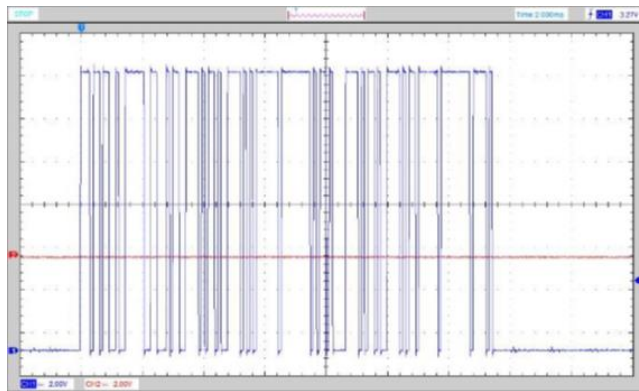
*Результати досліджень:*

*Дослідження керуючих сигналів при відсутньому висіві насіння (умова а. рис.3.3,а.):*

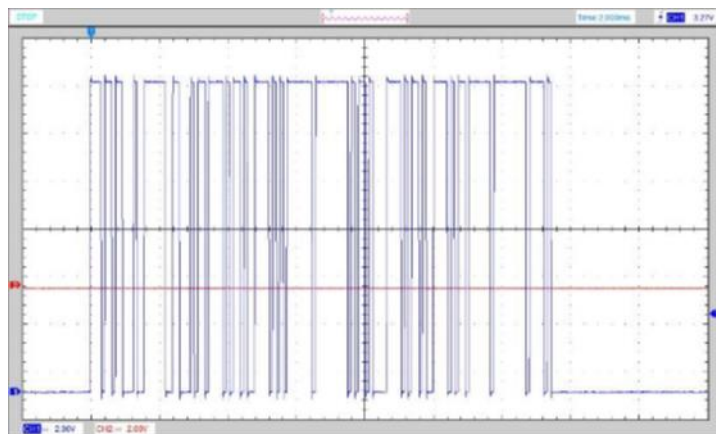
- Характер сигналу: Відсутність активних імпульсів. Осцилограф показав стабільний низьковольтний сигнал, який свідчив про те, що система очікує активації висівного механізму.
- Напруга сигналу: Постійна напруга в електричному колі становила приблизно 0.5-1 В.
- Струм в електричному колі: Сила струму в пасивному режимі була близько 0.1-0.3 А, що є мінімальним для підтримки системи в режимі очікування.



а



б



в

Рисунок 3.3 – Характеристика керуючого сигналу сенсора контролю висіву: а - висів насіння відсутній; б - висів насіння відповідно до заданої норми; в - висів насіння відбувається відповідно до заданої норми за наявності додаткового опору електричному колу 4 кОм

*Дослідження керуючих сигналів при висіві згідно норм (умова б, рис.3.б):*

- Характер сигналу: Система видавала імпульсні сигнали під час кожного висіву насіння. Осцилограф показав рівномірні пульсації напруги з частотою, що відповідала кількості висіваних зерен.
- Напруга сигналу: Напруга зростала до 12-14 В під час активації висівного механізму.
- Струм в електричному колі: Сила струму зросла до 1.5-2.0 А під час активної роботи висівних апаратів, що відповідало нормальним режимам роботи сівалки.
- Частота імпульсів: Частота імпульсів збільшувалася при збільшенні швидкості сівалки або збільшенні норми висіву, що підтверджувало коректну роботу системи керування.

*Дослідження керуючих сигналів при висіві згідно норм, але за наявного додаткового опору в електричному колі — 4 кОм (умова в, рис.3.в):*

Характер сигналу: Осцилограф показав зміни у формі імпульсів, що свідчили про зниження ефективності передачі сигналу через додатковий опір. Імпульси стали менш чіткими, що могло призвести до зниження точності висіву.

Напруга сигналу: Напруга зменшилася до 8-10 В, що свідчило про зростання опору в колі.

Струм в електричному колі: Сила струму впала до 1.0-1.2 А, що свідчило про зниження ефективності роботи висівних апаратів.

Частота імпульсів: Частота сигналів залишилася незмінною, однак спостерігалася затримка в активації висівних механізмів, що може свідчити про зниження швидкості реакції системи на команду висіву.

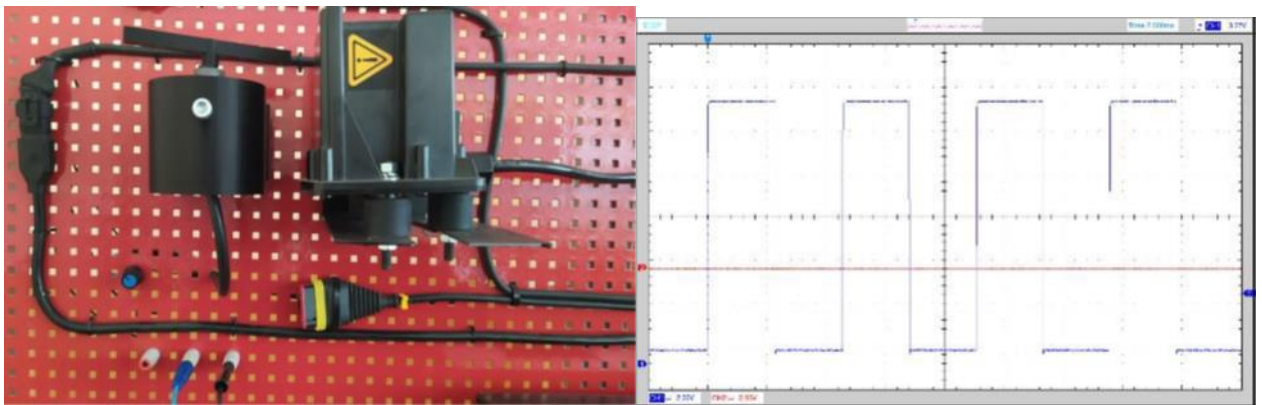
*Аналіз результатів:*

- При відсутньому висіві (умова а), система підтримує мінімальний рівень напруги і струму, очікуючи активації механізму. Це підтверджує ефективну роботу електронної системи в режимі очікування.

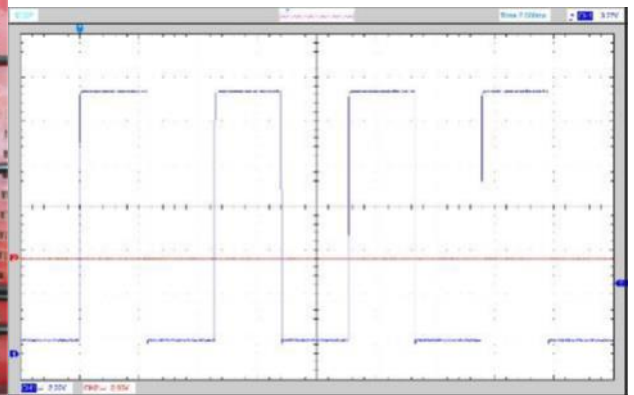
- При нормальному висіві (умова б), система працює відповідно до встановлених параметрів, підтримуючи необхідні імпульсні сигнали для точного висіву зернин.

- При наявності додаткового опору в колі (умова в), спостерігається зниження напруги і струму, що може призводити до зменшення точності та ефективності висіву.

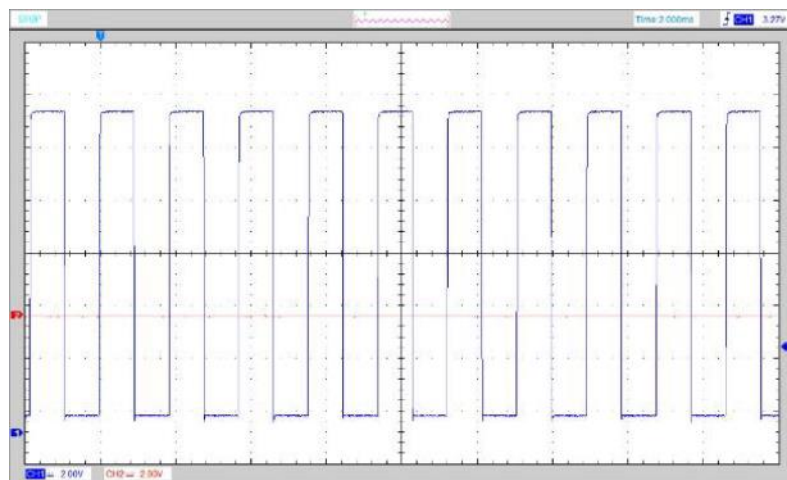
При проведенні дослідження сенсора (швидкості руху) ми отримали таку характеристику, див. рис. 3.5



А



б



в

Рисунок 3.5 – Характеристика керуючого сигналу сенсора швидкості руху: а – схема вимірювання; б – характеристика керуючого сигналу (швидкість 3 км/год); в - – характеристика керуючого сигналу (швидкість 10 км/год)

Дослідження показали, що електронна система керування сівалкою HORSCH Maestro функціонує стабільно в нормальних умовах, але при наявності додаткового опору в електричному колі її ефективність може знижуватися. Це свідчить про важливість забезпечення належної електропровідності в системі для підтримки високої точності висіву.

### **Результати дослідження**

#### *Точність подачі насіння*

- Електронна система керування сівалкою HORSCH Maestro продемонструвала високу точність висіву. При дослідженні виявлено, що кількість насінин на погонний метр і відстань між ними відповідала встановленим нормам з мінімальними відхиленнями.

- Результати точності:
  - Відсутність пропусків: кількість пропущених насінин складала не більше 0.5% при нормальній роботі системи.
  - Подвійні висіви: кількість подвійних висівів складала в середньому 1-1.2%, що є прийнятним для сучасних систем точного висіву.
  - Відхилення від норми: загальні відхилення у відстані між насінням не перевищували 2-3 мм, що свідчить про високу точність подачі.

#### *Стабільність роботи системи*

- Система керування HORSCH Maestro продемонструвала стабільну роботу в різних умовах. За допомогою осцилографа було відзначено, що форма керуючих сигналів залишалася стабільною при нормальному висіві.

- Стабільність сигналів:
  - Під час досліджень система реагувала на зміну умов (швидкості руху, опору в електричному колі) з незначними затримками, що не впливали критично на якість роботи.
  - При додатковому опорі (4 кОм) спостерігалось зменшення точності сигналів, але система продовжувала працювати в рамках допустимих норм.

### *Вплив швидкості руху на якість висіву*

- Було досліджено вплив швидкості руху сівалки на точність висіву:
  - При швидкості 8 км/год: система працювала стабільно, точність висіву залишалася на рівні 95-98%.
  - При швидкості 10 км/год: точність висіву залишалася високою, але кількість пропусків та подвійних висівів дещо зросла (до 1.5%).
  - При швидкості 12 км/год і вище: точність почала знижуватися. Кількість подвійних висівів зросла до 2-2.5%, а пропуски — до 1-1.2%-вказує на те, що висока швидкість може впливати на точність роботи висівного апарата.

### *Порівняння з традиційними методами*

- Традиційні механічні сівалки були використані для порівняння. Основні показники роботи були наступними:
  - Точність висіву у механічних системах значно нижча — кількість пропусків становила до 3%, а подвійних висівів — до 5%.
  - Нерівномірність розподілу насіння: механічні сівалки демонстрували більші відхилення у відстані між насінинами (до 5-6 мм).
  - Залежність від швидкості: механічні системи виявилися більш чутливими до збільшення швидкості, оскільки при швидкостях понад 10 км/год точність висіву різко знижувалася (до 85% точності).
  - Економічна ефективність: електронна система HORSCH Maestro дозволяла зменшити кількість витратного матеріалу (насіння), що робить її економічно вигіднішою за традиційні методи.

### **3.4 Результати дослідження похибки дозування за несправності компонентів електронної системи управління сівалкою**

У даному підрозділі досліджуються фактори, що впливають на точність дозування насіння, а також результати випробувань, проведених для оцінки якісної та ефективної роботи електронної системи керування сівалкою HORSCH Maestro за умов несправності окремих компонентів.

### *Фактори, що впливають на процес висіву насіння*

1. Несправності в електронних компонентах:
  - Несправності в датчиках (наприклад, датчики положення, швидкості висіву) можуть призводити до неправильних даних про швидкість та положення насіння, що в свою чергу вплине на точність висіву.
  - Відмови в мікроконтролерах або програмному забезпеченні можуть призвести до збою в обробці сигналів, що вплине на коректність дозування.
2. Проблеми з живленням:
  - Нестабільність електроживлення, збої в подачі напруги можуть призвести до ненадійної роботи системи, зокрема до зміни величини напруги на виході.
3. Механічні несправності:
  - Зношення або поломки механічних частин сівалки (висівних дисків, приводів) можуть негативно вплинути на точність дозування насіння.
  - Неправильна калібрування механізмів, що відповідають за подачу насіння, також вплине на якість висіву.
4. Зміни в характеристиках насіння:
  - Вологість, форма та розмір насіння можуть впливати на його проходження через механізми висіву. Ці характеристики можуть змінюватися, якщо система не адаптована до різних умов висіву.

Випробування проводилися в умовах моделювання несправностей, щоб оцінити похибку дозування насіння. Дослідження включали такі сценарії:

#### *Несправність датчика швидкості:*

Симулювали зниження точності даних про швидкість сівалки. У таких умовах було зафіксовано збільшення кількості пропущених насінин до 3-4%, а точність висіву зменшилася до 90%.

Датчики неправильно фіксували швидкість, що призвело до неправильного розрахунку норми висіву.

### *Вимкнення живлення однієї з секцій сівалки:*

При проведенні тесту з вимкненням живлення в одній секції сівалки було зафіксовано повну відсутність висіву в цій зоні. Інші секції працювали нормально, проте в результаті спостерігалася нерівномірність висіву, що підтверджує необхідність належного електроживлення.

### *Проблеми з механічними частинами:*

При імітації зношення висівних дисків спостерігалися збільшення похибок в дозуванні: кількість насіння на погонний метр зменшилася до 70-80% від встановленої норми, а також зросла частота подвійних висівів до 6%.

Також зафіксовано, що нерегулярна форма насіння призвела до збільшення відхилень у дозуванні, що підтверджує важливість правильного налаштування механізмів під різні види насіння.



Рисунок 3.6 – Налаштування дозатора насіння сівалки HORSCH Maestro для висіву кукурудзи

### *Аналіз результатів*

- Несправності в електронних та механічних компонентах системи можуть суттєво впливати на точність висіву та ефективність роботи сівалки.

- Система HORSCH Maestro виявляє чутливість до несправностей, що підкреслює необхідність регулярного моніторингу та обслуговування всіх її компонентів.

- Результати дослідження свідчать про важливість якісної електронної системи керування для підтримки стабільної роботи сівалки і забезпечення високої точності висіву.

Отже, проведене дослідження показало, що несправності компонентів електронної системи керування можуть призвести до значних похибок у процесі висіву насіння. Це підкреслює необхідність регулярної діагностики та обслуговування, щоб забезпечити високу якість роботи системи і точність висіву в різних умовах.

За результатами дослідження, внесені дані до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Результати досліджень ефективності висіву за різного технічного стану електронної системи управління (задані та фактичні параметри висіву насіння)

Показник	Середні значення показників				
	Відповідно до ТУ (для систем контролю для посівних машин)	Задано програмними налаштуваннями сівача	Отримані за показами системи контролю висіву	Отримані за показами системи контролю висіву з імітацією на додаткового навантаження електронної системи управління	Фактично отримані
Культура	Кукурудза				
Ширина міжряддя, см	37-90	70			
Рослин на 1 м <sup>2</sup>	6 - 12	9			
Насінин на 1 м.п.	7,2 – 18,9	7,4	7,3	7,1	7,3
Насінин тис./га	50 - 127	73,5	72,6	70,5	72,6
Швидкість посіву, км/год	1-20	9	9	8,7	-
Похибка вимірювання системи контролю висіву, %	0,1	± 25 (встановлено системою для аварійного повідомлення)	1,8	4,5	1,8
Відстань між насінинами, см	10 - 22	13,5	13,7	14,1	13,7
Відхилення рівномірності висіву, %	± 16	± 25 (встановлено системою для аварійного повідомлення)	6,2	12,4	9,6

### **Висновки до розділу**

- Електронна система керування HORSCH Maestro забезпечує високу точність і стабільність роботи в різних умовах.
- Система ефективно працює при швидкостях до 10 км/год, але при підвищенні швидкості до 12 км/год починає знижуватися точність висіву.
- У порівнянні з традиційними механічними сівалками, система HORSCH Maestro значно перевершує їх у точності, стабільності та економічній ефективності.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Вимоги до безпеки при експлуатації сівалок точного висіву**

Сівалки точного висіву HORSCH MAESTRO оснащені складними електронними системами керування, що вимагає дотримання особливих заходів безпеки при їх використанні.

Основними вимогами до безпеки є:

1. Попередня підготовка та навчання персоналу. Оператори сівалок повинні пройти відповідне навчання щодо експлуатації обладнання, включаючи безпечне використання електронних систем керування.
2. Забезпечення належного технічного стану обладнання. Перед початком роботи необхідно перевірити технічний стан сівалки, зокрема цілісність електричних кіл, справність сенсорів та інших компонентів системи.
3. Використання засобів індивідуального захисту. Працівники повинні бути забезпечені відповідними засобами індивідуального захисту, такими як захисні окуляри, рукавиці, спеціальний одяг та взуття.
4. Дотримання правил електробезпеки. Оскільки сівалки оснащені електронними системами, важливо дотримуватися правил роботи з електрообладнанням, щоб уникнути ураження електричним струмом.

### **4.2 Особливості безпеки при обслуговуванні електронних систем**

Електронні системи керування сівалками, включаючи сенсори інтенсивності потоку насіння та інфрачервоні сенсори рівня заповнення, вимагають особливої уваги при обслуговуванні.

Основні заходи безпеки при обслуговуванні електронних систем включають:

1. Відключення живлення. Перед проведенням будь-яких ремонтних або профілактичних робіт необхідно повністю відключити живлення системи, щоб уникнути випадкових уражень електричним струмом.

2. Перевірка цілісності електричних кіл. Регулярне обстеження та перевірка цілісності електричних кіл за допомогою цифрових мультиметрів дозволяє своєчасно виявляти та усувати можливі несправності.

3. Захист від пилу та вологи. Електронні компоненти повинні бути захищені від впливу пилу та вологи, що може викликати корозію та збої в роботі системи.

### **4.3 Організаційні заходи для забезпечення безпеки праці**

Для забезпечення безпеки праці при використанні сівалок точного висіву HORSCH MAESTRO необхідно впровадити комплекс організаційних заходів, включаючи:

1. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці. Інструкції повинні містити детальний опис безпечних методів роботи, правила поведінки в аварійних ситуаціях та вимоги до використання засобів індивідуального захисту.

2. Проведення регулярних інструктажів. Регулярні інструктажі з охорони праці для всього персоналу, зайнятого на сільськогосподарських роботах, сприятимуть підвищенню рівня безпеки та обізнаності працівників.

3. Моніторинг дотримання вимог охорони праці. Постійний моніторинг та контроль за дотриманням вимог охорони праці дозволяє вчасно виявляти та усувати порушення, знижуючи ризики виникнення нещасних випадків.

Отже, забезпечення охорони праці при використанні сівалок точного висіву HORSCH MAESTRO є невід'ємною складовою успішного впровадження сучасних агротехнологій. Комплекс заходів, спрямованих на підвищення безпеки працівників, ефективне використання техніки та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, сприятиме підвищенню продуктивності та стійкості сільськогосподарського виробництва.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ

### 5.1 Розрахунок економічного ефекту від використання пропонованої методики діагностики

Впровадження нових технологій і обладнання пов'язане з деякими капіталовкладеннями на їх розробку, які окуповуються в процесі використання за рахунок покращення техніко-економічних показників їх роботи.

Економічну ефективність використання удосконаленого дозатора визначали за рахунок порівняння затрат на виконання процесу висіву насіння кукурудзи сівалкою HORSCH Maestro за допомогою удосконаленої методики діагностики [28].

Розрахунок техніко-економічних показників роботи сівалки здійснювався за методикою розрахунку питомої економічної ефективності приведеної на один кілограм використаної продукції.

Річний економічний ефект від застосування удосконаленої методики визначається з виразу:

$$E = ((Z_{\text{в}}^{\text{б}} - Z_{\text{в}}^{\text{н}}) + (\Gamma_{\text{н.б.п.}} - \Gamma_{\text{н.н.п.}})) \times P_i \quad (5.1)$$

де  $Z_{\text{в}}^{\text{б}}$ ,  $Z_{\text{в}}^{\text{н}}$  – відповідно зведені затрати використання базової технології та удосконаленої технології;  $\Gamma_{\text{н.б.п.}}$  – грошові надходження від реалізації продукції відповідно до базової технології, грн;  $\Gamma_{\text{н.н.п.}}$  – надходження від реалізації, з використанням удосконаленої технології, грн;  $P_i$  – річне напрацювання технологічного обладнання, кг.

При цьому прямі експлуатаційні затрати  $\Pi_3$  розраховують за формулою [56]:

$$\Pi_3 = Z_{\text{зпл}} + Z_{\text{ел.ен}} + Z_{\text{рен}} + Z_{\text{ТО рем}} \quad (5.2)$$

де  $Z_{\text{ел.ен}}$  – затрати на енергоресурси, грн/кг;  $Z_{\text{зпл}}$  – затрати на оплату праці робітників, грн/кг;  $Z_{\text{рен}}$  – відрахування на реновацію обладнання, грн/кг;  $Z_{\text{ТО рем}}$  – відрахування на технічне обслуговування і ремонт, грн/кг.

Затрати на оплату праці робітників становлять:

$$Z_{зпл} = \frac{n \cdot \tau_{год} \cdot k_{допл}}{W_{год}}, \text{ грн/кг}, \quad (5.3)$$

де  $\tau_{год}$  – годинна тарифна ставка працівників, грн/год;  $n$  – кількість працівників, чол;  $k_{допл}$  – коефіцієнт, що враховує додаткові доплати і нарахування;  $W_{год}$  – продуктивність обладнання за годину часу протягом зміни, кг/год.

Затрати на електроенергію:

$$Z_{ел.ен} = \frac{N_{ел.} \cdot C_{ел.}}{W_{год}}, \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}, \quad (5.4)$$

де  $N_{ел.}$  – потужність, яка споживається технологічним обладнанням, кВт;  $C_{ел.}$  – ціна 1 кВт електроенергії, грн.

Відрахування на реновацію обладнання:

$$Z_{рен} = \frac{B_{м.} \cdot k_{р.}}{W_{год} \cdot T_{р.}}, \text{ грн/кг}, \quad (5.5)$$

де  $k_{р.}$  – коефіцієнт, що враховує річне відрахування на реновацію техніки, %;  $B_{м.}$  – балансова вартість обладнання, грн;  $T_{р.}$  – річне завантаження обладнання, год.

Відрахування на  $T.O.$  і ремонт становлять:

$$Z_{ТОрем} = \frac{B_{м.} \cdot (k_{н.р.} + k_{к.р.})}{W_{год} \cdot T_{р.}}, \text{ грн/кг}, \quad (5.6)$$

де  $k_{н.р.}$  – коефіцієнт відрахувань на ремонт і  $T.O.$ , (в даному випадку коефіцієнт відрахування становить 0,13);  $k_{к.р.}$  – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт, ( $k_{к.р.}$  прийнято 0,0275).

Загальні капіталовкладення необхідні для впровадження удосконаленої технології діагностики  $K_{кап.вкл}$  (грн/кг) визначають:

$$K_{кап.вкл} = \frac{B_{м.}}{W_{год} \cdot T_{р.}}. \quad (5.7)$$

Загальні зведені затрати на одиницю продукції  $Z_з$  (грн/кг):

$$Z_3 = \Pi_3 + K_{\text{кап.вкл}} \cdot k_{\text{еф.кап.вкл}}, \quad (5.8)$$

де – коефіцієнт, що враховує ефективність капіталовкладень.

Зменшення прямих експлуатаційних витрат протягом року  $E_{\text{екс.витр}}$  розраховують за формулою:

$$E_{\text{екс.витр}} = (Z_3^b - Z_3^h) \cdot T_p, \text{ грн}, \quad (5.9)$$

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності від використання запропонованої технології діагностики ґрунтується на інформації заводів-виготовлювачів; вартість електроенергії, годинні тарифні ставки робітників визначались на основі статистичних даних станом на 12.09.2024 року.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	Машина	
	HORSCH Maestro 24	HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики
<b>Продуктивність агрегату або машини за годину змінного часу: т/год</b>	0,0028	0,0027
<b>Балансова вартість, грн :</b>		
машини	2390000	2390000
енергетичного засобу (трактора)	1100000	1100000
допоміжне обладнання		
<b>Річне завантаження, год.:</b>		
енергетичного засобу (трактора)	140	140
машини	140	140
допоміжне обладнання	1	1
<b>Чисельність виробничого персоналу, чол.:</b>		
основного	1	1
допоміжного персоналу	2	1
<b>Годинні тарифні ставки, грн/люд.год :</b>		
основного персоналу	80	80
допоміжного персоналу	48	48
<b>Коефіцієнт, що враховує доплати:</b>		
основного персоналу	1,1	1,1
допоміжного персоналу	1,1	1,1
<b>Коефіцієнт відрахувань на реновацію:</b>		
енергетичного засобу (трактора)	0,125	0,125
машини	0,142	0,142
допоміжне обладнання		

Продовження табл. 5.1

<b>Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування</b> енергетичного засобу (трактора)	0,22	0,22
машини	0,23	0,23
допоміжне обладнання		
<b>Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт:</b> енергетичного засобу (трактора)	0,04	0,04
машини		
<b>Витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/га</b>	32	32
<b>Ціна 1 кг палива з врахуванням вартості мастильних матеріалів, що припадає на 1 кг палива, грн</b>	55	55
<b>Коефіцієнти затрати на зберігання від вартості технічного обслуговування</b> енергетичного засобу (трактора)	0,065	0,065
машини	0,065	0,065
допоміжного обладнання		
<b>Економія основних матеріалів (наприклад посівного матеріалу)</b> витрата матеріалу на один гектар, ц ціна одиниці матеріалу, грн./ц витрата матеріалу на один гектар, ц ціна одиниці матеріалу, грн./ц	0,28 9000	0,269 9000
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	0,15	
Коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту	0,95	
Коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову	1,1	

Таблиця 5.2 - Результати розрахунку економічної ефективності

Показники	Машина	
	HORSCH Maestro 24	HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики
1	2	3
1. Річне напрацювання, га	16800	16800
2. Прямі затрати (грн/га) на:		
– оплату праці	0,74	0,74
– паливо-мастильні матеріали	840	840
– технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт	154,72	154,79
– реновацію	19,46	19,47
– інші прямі затрати	10,07	10,08
– всього прямих затрат	1024,99	1025,08
3. Капітальні вкладення, грн/га	136,92	136,98
4. Зведені затрати, грн/га	1045,53	1045,63
5. Економічний ефект від економії витратних матеріалів, збільшення врожайності та якості отриманої продукції, грн./га	—	90
6. Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн	—	1510336,80
7. Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби нової машини, грн	—	5172386,3
8. Верхня межа ціни нової машини, грн	—	6793987,55
9. Лімітна ціна нової машини, грн	—	6454288,17
10. Затрати праці, люд.-год/га	0,02	0,02
11. Річна економія праці, люд.-год.	—	0
12. Ступінь зменшення затрат (в %)		
– праці	—	0
– прямих затрат	—	-0,01
– зведених затрат	—	-0,01
– капіталовкладень	—	-0,04

На основі аналізу таблиці 5.2, встановлено, що за умови проведення технічного обслуговування сівалки HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики покращується рівномірність висіву насіння.

Отже, проведення технічного обслуговування сівалки HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики покращується рівномірність висіву насіння. Коливання показника рівномірності висіву може сягати 14%, а економічний ефект від економії витратних матеріалів, збільшення врожайності та якості отриманої продукції становить 90 грн./га Річний економічний ефект досягається, переважно, за рахунок економії посівного матеріалу й становитиме близько 1510336,80 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Основними тенденціями зі захисту та відновлення родючості ґрунтів є виробництво за технологіями нульового обробітку ґрунту No-Till та смугового обробітку - Strip Till.

2. Для посіву насіння використовують універсальні, спеціальні та комбіновані сівалки, які поділяються на: моноблочні, роздільно-агрегатні, а також секційні. За типом агрегування розрізняють причіпні та навісні, а способом подачі насіння – механічні й пневматичні. Активне впровадження й розвиток цифрових технологій в сільськогосподарській техніці значною мірою підвищує ефективність роботи сівалок, дає можливість застосовувати автоматизовані електронні системи управління, програмне забезпечення з управління, звітності, супутникових систем навігації для ведення точного землеробства відповідно до програм «Сільське господарство 4.0».

3. Посівні машини HORSCH Maestro - це високопродуктивні сівалки точного висіву з пневматичним способом переміщення насіння та добрив.

Для точного поштучного дозування у висівних апаратах використовують вакуумний забір насіння дозувальними дисками. Для машин такого типу широко використовують електронні системи управління та контролю за робочими процесами.

4. Дослідження параметрів керуючих сигналів проводилось за портативним персональним комп'ютером та цифровим осцилографом Hantek 1008B, а цілісність електричних кіл живлення – за допомогою цифрового мультиметра UNI-T UT61D. Досліджено роботу сенсорів контролю висіву, живлення яких відбувається через 2 контакти (контакт «1» і контакт «4») напругою 12 В. А на контакті «2» відбувається генерація цифрового керуючого сигналу. Імітовано додатковий опір електричному колу 4 кОм (наприклад через поганий контакт, або його окислення), при цьому спостерігається генерація додаткових шумів на осцилограмі, через що слідкуючий сигнал за потоком насіння може надсилатись з певними похибками.

5. Випробування сівалки проводилось за наступних умов: схожість насіння 95%, лабораторна чистота 98,9 %, рослин на 1 м<sup>2</sup> - 9 шт., насінин на 1 м.п.- 7,4. Згідно отриманих даних, параметри висіву можуть різнитись залежно від технічного стану компонентів електронної системи управління, наприклад за додаткового навантаження опором, рівномірність висіву може знизитись до 12,4%, а корекція висіву може змінюватись в межах  $\pm 4,5$  %.

6. Під час проведення технічного обслуговування сівалки HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики покращується рівномірність висіву насіння. Коливання показника рівномірності висіву може сягати 14%, а Економічний ефект від економії витратних матеріалів, збільшення врожайності та якості отриманої продукції становить 90 грн./га Річний економічний ефект досягається, переважно, за рахунок економії посівного матеріалу й становитиме близько 1510336,80 грн

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Computer development based embedded systems in precision agriculture: tools and application (Вбудовані системи на основі комп'ютерної розробки в точному землеробстві: інструменти та застосування) [Saddik, Amine](#); [Latif, Rachid](#); [El Ouardi, Abdelhafid](#); [Elhoseny, Mohamed](#) [Khelifi, Adel](#) Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, vol. 72, issue 1, pp. 589-611 December 2022 [10.1080/09064710.2021.2024874](https://doi.org/10.1080/09064710.2021.2024874).
2. Artificial intelligence enables mobile soil analysis for sustainable agriculture (Штучний інтелект дозволяє мобільно аналізувати ґрунт для сталого сільського господарства) [Ferreira da Silva, Ademir](#); [Ohta, Ricardo Luis](#); [Tirapu Azpiroz, Jaione](#); [Esteves Fereira, Matheus](#); [Vitor Marçal, Daniel](#); eprint arXiv:2207.10537 July 2022 10.48550/arXiv.2207.10537 [arXiv:2207.10537](https://arxiv.org/abs/2207.10537) 2022arXiv220710537F
3. Smart Irrigation System for Precision Agriculture—The AREThOU5A IoT Platform ( Розумна іригаційна система для точного землеробства — платформа AREThOU5A IoT) [Boursianis, Achilles D.](#); [Papadopoulou, Maria S.](#); [Gotsis, Antonis](#); [Wan, Shaohua](#); [Sarigiannidis, Panagiotis](#); IEEE Sensors Journal, vol. 21, issue 16, pp. 17539-17547 August 2021 [10.1109/JSEN.2020.3033526](https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3033526) 2021ISenJ..2117539B
4. Computer development based on embedded systems in precision agriculture: tools and applications (Комп'ютерні розробки на основі вбудованих систем у точному землеробстві: засоби та додатки) [Saddik, Amine](#); [Latif, Rachid](#); [El Ouardi, Abdelhafid](#); [Elhoseny, Mohamed](#); [Khelifi, Adel](#) Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, vol. 72, issue 1, pp. 589-611 December 2022 [10.1080/09064710.2021.20248](https://doi.org/10.1080/09064710.2021.20248) 2022AcASB..72..589S .
5. Research on crop growth system of precision agriculture in field management based on wireless sensor (Дослідження системи вирощування сільськогосподарських культур точного землеробства в польових умовах на основі бездротового датчика) [Yang, Guo](#); [Cheng, Guangrong](#); [Wang, LiMing](#); [Yang, RuPing](#); [Wang, Xinghui](#); [Wang,](#)

[Hongwen;Su, Yuqin](#) Proceedings of the SPIE, Volume 12349, id. 1234902 6 pp. (2022).  
October 2022 [10.1117/12.2657398](#) 2022SPIE12349E..02Y

6. Машини для технології Strip-till. Агробізнес сьогодні. [Електронний ресурс].  
Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/9965-mashyny-dlia-tekhnologii-striptill.html>. Дата останнього звернення: 07.11.2020 р.

7. Пивовар П.В. Методологічні основи аналізу економічної ефективності використання машинно-тракторного парку / П.В. Пивовар // Вісн. ЖНАЕУ (економічні науки) – 2010. № 2 (27). – с. 42-51.

8. Руденко М.В. Вплив цифрових технологій на аграрне виробництво: методичний аспект / Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління. Том 30 (69). № 6, 2019 р., с. 30 – 37. DOI: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-6-28>

9. John Deere. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.deere.ua/uk/index.html> Дата останнього звернення: 01.12.2021 р.

10. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П., Карасьов П.І., Кухаренко П.М., Ільченко А.В. Практикум з використання машин у рослинництві / Дніпропетровський держагроуніверситет. – Дніпропетровськ, 2002. – 212с.

11. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting [Text] / K.V. Vasytkovska, S.M. Leshchenko, O.M. Vasytkovskyi, D.I. Petrenko // INMATEH - Agricultural Engineering – Romania, Bucharest: INMA. Vol. 50, No.3. 2016, 13-20.

12. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Захарін Ф.М., Адамчук Н.І., Пономаренко С.О. Основи застосування високоточних технологій рослинництва. /Монографія/ – К: - НУБіП України, 2020, - 405 с.

13. Власенко В. Передові технології в аграрному комплексі / В. Власенко // Винахідник і раціоналізатор : науково-популярний, науковий журнал. - 2018. - № 2. - С. 19-21.

14. Курсова точність: технології точного землеробства // FARMER. - 2018. - № 8. - С. 14-40.
15. Огійчук В. Шлях до всебічного контролю / В. Огійчук // FARMER. - 2018. - № 8. - С. 20-23.
16. Гончарук І.В., Ковальчук С.Я., Цицюра Я.Г., Лутковська С.М. Динамічні процеси розвитку органічного виробництва в Україні. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 478 с. ISBN 978-966-949-672-0
17. Система точного землеробства: підручник / Л.В. Аніскевич, Д.Г. Войтюк, Ф.М. Захарін, С.О. Пономаренко; за ред. Л.В. Аніскевича. К: НУБіП України, 2018. – 566 с.
18. Огійчук В. «Точний» прибуток з гектара / В. Огійчук // The Ukrainian Farmer. – 2018. - № 8. – С. 24–28.
19. Точне землеробство. Офіційний сайт компанії Case. [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <http://titanmachinery.ua/katalog-tehniki/cat/tochnoe-zemledelie>
20. Залож В. І. Підвищення ефективності контролю технічного стану транспортних дизелів шляхом використання методу аналітичної синхронізації даних моніторингу: дис. . канд. техн. наук: 05.22.20 / Нац. ун-т "Одес. морс. акад.". Одеса. 2020. 238 с.
21. Циліорик О. Доцільність і ефективність застосування технологій точного землеробства /Циліорик О. Стаття. Журнал "[Агрономія сьогодні](http://agronomy.com.ua/)".- 07. 2023 <http://agronomy.com.ua/>.
22. Точне землеробство – зниження собівартості та підвищення врожайності/ Мельник О. /№ 11 АгроЕліта .- 2023 . <https://agroelita.info/tochne-zemlerobstvo-znyzhennya-sobivartosti-ta-pidvyshhennya-vrozhajnosti/>
23. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., Skibchyk, V. (2021). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення

добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. Агроінженерні дослідження, 24, 77-82. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.077>.

24. Мигаль, В.Д. Мехатронні та телематичні системи: монографія. Вид-во Майдан, Харків, 2017. 307 с.

25. Попович О.М. Автоматичні системи управління посівними машинами. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК, 144, 2010. С. 118–125.

26. HORSCH MAESTRO. URL: <https://www.horsch.com/ru/produkty/mashiny-dlja-poseva/diskovye-posevnye-kompleksy/pronto-dc>. (дата звернення: 04.06.2024р.).

27. Аніскевич Л. В.. Управління системами високоточного дозування технологічних матеріалів. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК, 196, 2014. С. 264–277.

28. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу : підручник / В. Г. Андрійчук. – К. : КНЕУ, 2018. – 779 с.

## **ДОДАТКИ**